Comité fédéral-provincial de coordination de la recherche et de la surveillance

STANDARDS DEVELOPMENT BRANCH OMOE
36936000006936

ACID RAIN

PLUIES ACIDES

Province of British Columbia
Ministry of Environment and Parks

Gouvernement du Québec
Ministère de l'Environnement

Alberta
ENVIRONMENT

New Brunswick
Department of Municipal Affairs and Environment

Saskatchewan
Environment and Public Safety

Prince Edward Island
Community & Cultural Affairs

Manitoba
Environment and Workplace Safety and Health

Nova Scotia
Department of the Environment

Environment Ontario

Province of Newfoundland
Department of the Environment

Canada

RAPPORT CANADIEN D'ÉVALUATION DE 1990 SUR LE TRANSPORT À DISTANCE DES POLLUANTS ATMOSPHÉRIQUES ET SUR LES DÉPÔTS ACIDES

Partie 1

RÉSUMÉ

TD
195.54
.C362
1990
MOE

1990

TD
195.54
.C362
1990

Rapport Canadien d'evaluation
de 1990 sur le transport a
distance des pollutants
atmospheriques et sur les

78736

Copyright Provisions and Restrictions on Copying:

This Ontario Ministry of the Environment work is protected by Crown copyright (unless otherwise indicated), which is held by the Queen's Printer for Ontario. It may be reproduced for non-commercial purposes if credit is given and Crown copyright is acknowledged.

It may not be reproduced, in all or in part, part, for any commercial purpose except under a licence from the Queen's Printer for Ontario.

For information on reproducing Government of Ontario works, please contact Service Ontario Publications at copyright@ontario.ca

Duplicate

COMITÉ FÉDÉRAL/PROVINCIAL DE COORDINATION

DE LA RECHERCHE ET DE LA SURVEILLANCE

RAPPORT DE 1990 SUR LE TRANSPORT À DISTANCE DES POLLUANTS ATMOSPHÉRIQUES ET SUR LES DÉPÔTS ACIDES

PARTIE 1

RÉSUMÉ

1990

These reports are also available in English

RÉSUMÉ

Le programme de lutte dans l'est du Canada contre les émissions d'anhydride sulfureux (SO_2) est bien parti. Les sept provinces de l'est (Manitoba, Ontario, Québec, Nouveau-Brunswick, Nouvelle-Écosse, Ile du Prince-Édouard et Terre-Neuve) mettent actuellement en oeuvre des programmes et des règlements grâce auxquels les émissions de SO_2 qui, en 1980 - année de référence - atteignaient 4 516 kilotonnes - seront ramenées à 2 300 kilotonnes en 1994. Les programmes se concentrent sur dix importants émetteurs d'anhydride sulfureux de l'est du Canada, tous appartenant aux secteurs minier et énergétique. Afin d'atteindre les réductions fixées, les compagnies exploitantes auront investi, entre 1987 et la fin de 1993, un montant global de 1,7 milliard de dollars dans des travaux de grande envergure.

Des recherches intensives sur le «transport à grande distance des polluants atmosphériques» dont les pluies acides, se poursuivent depuis plus d'une décennie. Les travaux pour déterminer les émissions d'anhydride sulfureux et d'oxydes d'azote, leurs concentrations dans l'air ambiant, les acides qu'ils déposent et les dommages qu'ils causent à l'environnement se sont soldés par des progrès notables.

Au cours de la dernière décennie, on a observé une diminution considérable des concentrations de SO_2 dans l'atmosphère et de sulfate dans les précipitations (jusqu'à 30 %) dans un certain nombre d'endroits dans l'est du Canada. Ces endroits se situent dans ou sous le vent des régions où les émissions de SO_2 ont décru de plus de 10 %. Dans les années 1980 les niveaux de nitrate dans les précipitations ont très peu changé, ce qui n'est pas surprenant vu le niveau constant des émissions d'oxydes d'azote.

Dans la région située à l'est de la frontière Manitoba-Ontario et au sud de la Baie James, on a dénombré environ 80 000 masses d'eau d'une superficie supérieure à 0,18 hectare. La moitié d'entre-eux sont sensibles aux effets du dépôt d'acide. On estime à plus de 31 000 le nombre des lacs acidifiés d'une superficie supérieure à 0,18 hectares et à14 000 ceux d'une superficie supérieure à 1 hectare.

Il est formellement établi que l'acidification est nocive à de nombreux organismes aquatiques. On sait aujourd'hui que le nombre total d'espèces de poissons et de diverses catégories du biote aquatique commence à décroître dès que le pH d'un lac descend au-dessous de 6, et donc bien avant qu'un lac soit déclaré complètement acidifié.

Le déclin des érables constaté actuellement au Canada dépasse en gravité et en étendue les déclins que l'on a observés dans le passé. Bien que l'on ait pas encore réussi à prouver l'existence d'une relation de cause à effet entre ce phénomène et les dépôts d'acide et les concentrations d'ozone, on pense cependant que ces dépôts ne sont pas étrangers au déclin des érables au Québec et en Ontario.

On a accusé le brouillard acide d'être une des causes de la détérioration des bouleaux blancs sur les rives de la Baie de Fundy au Nouveau-Brunswick. Dans l'est du Canada et en Colombie-Britannique, des concentrations élevées d'ozone au niveau du sol on causé des dommages considérables aux récoltes.

L'ozone au niveau du sol et les aérosols acides sont probablement les composants de TGDPA qui sont le plus directement nuisibles à la santé. Une étude entreprise au Canada a permis de découvrir que pendant les périodes de forte pollution atmosphérique dans une zone rurale du sud de l'Ontario où les sources de pollution sont inexistantes, les enfants présentaient une légère diminution de la fonction respiratoire. Deux autres études canadiennes ont comparé l'état des voies respiratoires des enfants dans une région créditée de niveaux élevés de TGDPA avec celui d'enfants d'une région à faibles niveaux de pollution. Les enfants de la région la plus polluée présentaient une diminution de la fonction respiratoire et une plus forte indicence d'infections des voies respiratoires.

Les scientifiques ont observé un rapport entre les hauts niveaux de pollution atmosphérique pendant les journées d'été et le nombre d'hospitalisations pour des troubles respiratoires. Le polluant responsable de cette situation est fort probablement l'acide sulfurique sous forme d'aérosol.

Dans le cadre de sa lutte visant à réduire les pluies acides, le Canada a fixé à 20 kg/ha/année le dépôt maximal de sulfate dans les précipitations. Ce chiffre a été calculé d'après le nombre limité des données disponibles au début des années 1980 et surtout d'après les pertes en poissons importants à la pêche de plaisance, qui surviennent quand le pH du milieu aquatique atteint 5,3. On admettait que cet objectif était insuffissant pour protéger les zones très sensibles et qu'il faudrait procéder à une nouvelle évaluation dès que des données supplémentaires seraient disponibles. On avait aussi reconnu qu'un plan destiné à ramener le niveau maximun des dépôts de SO_2 au-dessous de 20 kg/ha/année dans les régions sensibles conduirait du même coup à une diminution notable des dépôts de sulfate humide dans la majorité des autres régions sensibles.

Les nouvelles informations recueillies depuis ces quelques dernières années ont été analysées dans le but de déterminer le «niveau critique» de dépôt pour les écosystèmes aquatiques. On entend par «niveau critique» le seil en-deça duquel les dépôts acidifiants ne causeront pas de changements d'ordre chimique susceptibles d'avoir des effets nocifs à long terme sur la structure ou la fonction globale de l'écosystème aquatique. Les données sur le niveau critique peuvent, en conjonction avec des informations sur les questions économiques et sociales, servir à arrêter les niveaux maximum de dépôts et à mettre au point des programmes écologiques.

Les nouvelles données sur les effets aquatiques et le nouveau pH de référence - supérieur ou égal à 6 - nécessaire pour assurer la protection des écosystèmes aquatiques ont été utilisés dans les modèles aquatiques pour prévoir les niveaux critiques pour différentes régions de l'est du Canada. Ces niveaux s'étagent entre moins de 8 et

plus de 20 kg/ha/année de sulfate dans les précipitations.

Les analyses de l'efficacité des programmes canadien et américain de réduction des émissions de SO_2 ont été entreprises en recourant à des modèles atmosphériques et aquatiques. On s'attend à d'importantes améliorations de la composition chimique des lacs et du biote en Ontario et au Québec. Les modèles ne prévoient pas de changements notables des conditions aquatiques dans les régions très vulnérables du Nouveau-Brunswick, de la Nouvelle-Écosse et du sud de Terre-Neuve, même si, selon les prévisions, le dépôt de sulfate humide descendra au-dessous de 14 kg/ha/année.

TABLE DES MATIÈRES

		PAGE
	RÉSUMÉ	1-i
	TABLE DES MATÈRES	1-v
	LISTE DES FIGURES	1-vii
	LISTE DES TABLEAUX	1-viii
1.0	**INTRODUCTION**	1-1
1.1	**QUELLES MESURES ONT ÉTÉ PRISES POUR MAÎTRISER LES ÉMISSIONS RELIÉES AU TGDPA AU CANADA?**	1-4
	1.1.1 LES PLUIES ACIDES	1-4
	1.1.2 L'OZONE AU NIVEAU DU SOL	1-7
1.2	**COMMENT LES INDUSTRIES ET LES SERVICES PUBLICS CANADIENS ONT-ILS RÉAGI ENVERS LE PROGRAMME DE CONTRÔLE DE L'ANHYDRIDE SULFUREUX DANS L'EST DU CANADA? QUELS SONT LES FRAIS ENCOURUS ET QUELS SERONT LEURS INCIDENCES SUR LES INDUSTRIES ET LES COLLECTIVITÉS LOCALES?**	1-8
	1.2.1 FONDERIES	1-9
	1.2.2 CENTRALES ÉLECTRIQUES	1-10
1.3	**QUELS SONT LES NIVEAUX ANCIENS ET ACTUELS DES ÉMISSIONS D'ANHYDRIDE SULFUREUX, D'OXYDES D'AZOTE ET DE COMPOSÉS ORGANIQUES VOLATILES?**	1-12
1.4	**COMMENT L'ENVIRONNEMENT CANADIEN A-T-IL RÉAGI AUX POLLUANTS VÉHICULÉS PAR L'AIR?**	1-15

PAGE

1.4.1 CONCENTRATIONS ATMOSPHÉRIQUES ET DÉPÔTS 1-15

1.4.2 LES EFFETS AQUATIQUES 1-19

1.4.3 LES EFFETS TERRESTRES 1-24

1.4.4 LES EFFETS SUR LA SANTÉ HUMAINE 1-28

1.5 QUELS CHANGEMENTS POUVONS-NOUS ATTENDRE DE L'APPLICATION INTÉGRALE DES PROGRAMMES DE RÉDUCTION DES ÉMISSIONS D'ANHYDRIDE SULFUREUX AUX ÉTATS-UNIS ET AU CANADA? CES PROGRAMMES SUFFIRONT-ILS À PROTÉGER L'ENVIRONNEMENT CANADIEN? 1-30

1.5.1 RAPPORT ENTRE LA SOURCE ET LA ZONE DE RÉCEPTION 1-31

1.5.2 RAPPORT ENTRE LE DÉPÔT MAXIMAL ET LE DÉPÔT CRITIQUE 1-36

1.6 QUELLES MESURES PEUT-ON PRENDRE À COURT TERME POUR RÉDUIRE LES IMPACTS NÉGATIFS? QUELLES SERONT LEURS CONSÉQUENCES ET LEURS CHANCES DE SUCCÈS? 1-42

1.7 QUELLES SERONT LES ORIENTATIONS FUTURES DE LA RECHERCHE SUR LE TGDPA ET DES ACTIVIÉS DE LA LUTTE CONTRE LA POLLUTION? 1-42

1.7.1 RECHERCHE ET SURVEILLANCE 1-42

1.7.2 MESURES À PRENDRE POUR DIMINUER LES ÉMISSIONS 1-44

ANNEXE I - LES AUTEURS ET LES COLLABORATEURS 1-47

LISTE DES FIGURES

FIGURE n°		PAGE
1.1.1	Émissions de SO_2 en Amérique du Nord en 1985.	1-5
1.1.2	Émissions de SO_2 dans l'est du Canada - Contributions provinciales (kilotonnes).	1-6
1.3.1	Émissions de SO_2 au Canada, par région (1970 à 1985).	1-13
1.3.2	Émissions de NO_x au Canada, par région (1970 à 1985).	1-13
1.3.3	Émissions de HC au Canada, par région (1970 à 1985).	1-14
1.4.1	Régions de dépôts annuels de sulfates dépassant 20 kg/ha/année pour les années 1980 à 1982 et 1985 à 1987.	1-16
1.4.2	Régions de dépôts annuels de nitrates dépassant 15 kg/ha/année pour les années 1980 à 1982 et 1985 à 1987.	1-16
1.4.3	Différence en pour cent de la moyenne de 3 ans (1980-1982 et 1985-1987) des concentrations de NO_3^-.	1-17
1.4.4	Différence en pour cent de la moyenne de 3 ans (1980-1982 et 1985-1987) des concentrations de $SO_4^=$ en excès.	1-18
1.4.5	Le potentiel des sols et de la roche en place à réduire l'acidité des dépositions atmosphériques au Canada.	1-20
1.4.6	Types de forêts de l'est du Canada et moyenne sur 5 ans des dépôts humides excédentaires de $SO_4^=$ (kg/ha).	1-26
1.4.7	Types de forêts de l'est du Canada et moyenne sur 5 ans des dépôts humides de NO_3^- (kg/ha).	1-27
1.5.1	Schéma 1 - Conditions actuelles: Quantité de dépôts humides moyens de $SO_4^=$ en excès (kg/ha/année), observés sur cinq ans (1982-1986).	1-32
1.5.2	Schéma 2 - Prévisions des dépôts humides de $SO_4^=$ (kg/ha/année) tenant compte des émissions de SO_2 prévues dans l'est du Canada et un niveau des émissions aux É.-U. égal à celui de 1980.	1-33
1.5.3	Schéma 3 - Prévisions des dépôts humides de $SO_4^=$ (kg/ha/année) tenant compte des émissions de SO_2 prévues dans l'est du Canada, et la réduction de 4,5 millions de tonnes par rapport aux émissions de 1980 aux É.-U.	1-34

FIGURES n° (suite)		PAGE
1.5.3	Schéma 3 - Prévisions des dépôts humides de $SO_4^=$ (kg/ha/année) tenant compte des émissions de SO_2 prévues dans l'est du Canada, et la réduction de 4,5 millions de tonnes par rapport aux émissions de 1980 aux É.-U.	1-34
1.5.4	Schéma 4 - Prévisions des dépôts humides de $SO_4^=$ (kg/ha/année) tenant compte des émissions de SO_2 prévues dans l'est du Canada, et la réduction de 9 millions de tonnes par rapport aux émissions de 1980 aux É.-U.	1-35
1.5.5	Les niveaux critiques de dépôts: Les analyses indiquent que le niveau critique doit maintenir un pH égal ou supérieur à 6 dans au moins 95% des lacs situés dans une région.	1-38
1.5.6	Prévision du nombre des lacs ayant un pH inférieur à 6 dans chaque agrégat pour les quatre schémas de dépôt de sulfate.	1-39
1.5.7	Prévision du nombre des lacs ayant un pH inférieur à 5,3 dans chaque agrégat pour les quatre schémas de dépôt de sulfate.	1-40
1.5.8	Le prévision du pourcentage des lacs dans chaque agrégat ayant un décroissement de plus de 10% de la richesse en espèces de poissons pour les quatre schémas de dépôt de sulfate.	1-41

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU n°		PAGE
1.4.1	Exemples de disparition ou d'apparition (indiquée par un *) d'espèces aquatiques dans les eaux canadiennes pour trois gammes de pH entre 6,0 et 4,0. De façon générale, le nombre d'espèces de poissons, d'algues, de zooplanctons et de zoobenthos décroît à mesure que le pH s'affaiblit.	1-23

1.0 INTRODUCTION

Depuis plus d'une décennie, Le Transport à grande distance des polluants atmosphériques (TGDPA), dont résultent la pluie acide et ses effets sur l'environnement, fait l'objet au Canada d'une recherche intensive. Dans le même période, la réduction des émissions de polluants contribuant à la formation d'acides a fait des progrès considérables comme on en jugera par le bilan suivant: le programme de lutte contre les pluies acides est mis sur pied pour l'est du Canada, les recherches sont entreprises par les provinces de l'ouest sur des questions particulières à cette partie du pays, les protocoles sont signés sous les auspices de la Commission économique des Nations unies pour la convention du TGDPA de l'Europe en engageant le Canada à réduire d'ici à 1993 d'au moins 30 % les émissions de SO_2 par rapport à 1980 et avant 1995, et à ramener les émissions de NO_x à celles de 1980; et récemment, les modifications de la loi sur la qualité de l'air pour le contrôle des précipitations acides sont acceptées aux États-Unis. L'année 1990 marque la fin de la période de cinq années de financement spécial par le gouvernement fédéral en vertu du programme TGDPA IV. Elle marque également la fin du Programme national américain d'évaluation des précipitations acides (NAPAP) et leurs rapports. Au moment où nous entamons une nouvelle décennie de recherches et de surveillance, il importe que nous fassions l'inventaire de ce que nous savons sur le transport à distance des polluants atmosphériques et des pluies acides et que nous déterminions les orientations future des recherches et des mesures de contrôle.

Le rapport canadien sur l'évaluation du transport à distance des polluants atmosphériques et des dépôts acides se divise en huit volumes:

Partie 1 : Résumé

Partie 2 : Émissions et mesures d'antipollution

Partie 3 : Sciences atmosphériques

Partie 4 : Effets aquatiques

Partie 5 : Effets terrestres

Partie 6 : Effets sur la santé humaine

Partie 7 : Études socio-économiques

Partie 8 : Études sur l'assurance de la qualité.

Chaque volume s'appuie sur une série de questions. Le résumé pose les sept questions supplémentaires ci-après pour intégrer les résultats provenant des différents secteurs de l'enquête:

1. Quelles mesures ont été prises pour maîtriser les émissions de polluants TGDPA au Canada ?

2. Comment les industries et les services publics canadiens ont-ils réagi envers le Programme de contrôle de l'anhydride sulfureux dans l'est du Canada ? Quels sont les frais encourus et quels seront leurs incidences sur les industries et les collectivités locales ?

3. Quels sont les niveaux anciens et actuels des émissions d'anhydride sulfureux, d'oxydes d'azote et de composés organiques volatiles ?

4. Comment l'environnement canadien a-t-il réagi aux polluants véhiculés par l'air ?

5. Quels changements pouvons-nous attendre de l'application intégrale des programmes de réduction des émissions d'anhydride sulfureux aux États-Unis et au Canada? Ces programmes suffiront-ils à protéger l'environnement canadien?

6. Quelles mesures peut-on prendre à court terme pour réduire les impacts négatifs? Quelles sont leurs conséquences possibles et leurs chances de succès ?

7. Quelles seront les orientations futures de la recherche sur le TGDPA et des activités de la lutte contre la pollution ?

Nombreuses sont les réponses à ces questions qui ont des incidences directes sur les politiques environnementales des gouvernements fédéral et provinciaux. En conséquence, les rapports seront transmis au Comité directeur TGDPA fédéral et provinciaux, et au Conseil canadien des ministres de l'environnement chargés d'élaborer ces politiques.

Nous adressons nos sincères remerciements à tous ceux qui ont contribué à la rédaction de ce rapport pour leur dévouement et le temps qu'ils ont consacré à regrouper et analyser la masse énorme des données scientifiques. Le nom des collaborateurs et des analystes figurent à l'Annexe 1. Nous tenons également à remercier particulièrement Tom Chivers, Adam Fenech, Guy Fenech, Kelly Gauss, James Hart, Nicole Louissaint, Carrie McKay, Arron Mattson, Susan Moore, Shelagh Roe, Liz Sahsuvaroglu, Anne Tortolo, Ruth Tung, and Albert Wright pour leur collaboration.

On peut obtenir des exemplaires de tous ces rapport en s'adressant à :

Division de l'intégration des services environnementaux
Service de l'environnement atmosphérique
Environnement Canada
4905, rue Dufferin
Downsview (Ontario)
M3H 5T4

Téléphone : 416-739-4645/4240

Tom Brydges, Bill Hart et Sue Milburn

1.1 QUELLES MESURES ONT ÉTÉ PRISES POUR MAÎTRISER LES ÉMISSIONS RELIÉES AU TGDPA AU CANADA ?

Au Canada, les préoccupations suscitées par le transport à grande distance des polluants atmosphériques portent surtout sur les dommages causés par les pluies acides et l'ozone au niveau du sol. Les gouvernements fédéral et provinciaux ont mis au point un moyen conjoint d'aborder la question du contrôle des émissions. Ce moyen correspond aux objectifs nationaux tout en respectant l'autonomie des provinces et le besoin d'une certaine souplesse tenant compte des facteurs régionaux. Avec l'étranger, le Canada a contribué à la rédaction d'accords bilatéraux et internationaux complétant les mesures prises sur le plan national.

1.1.1 LES PLUIES ACIDES

C'est dans l'est du Canada que les dommages attribuables aux dépôtx d'acide sont les plus graves. Les dommages sont causés surtout par l'anhydride sulfureux (SO_2) rejeté par les fonderies et les centrales électriques de l'est du Canada, ainsi que par les centrales électriques du Midwest et du nord des États-Unis (figure 1.1.1). Les émissions d'oxyde d'azote (NO_x) contribuent aussi à l'acidité des précipitations, mais pour le moment elles ne sont pas une cause majeure de l'acidification de l'eau de surface dans l'est du Canada.

Au début des années 1980, en se fondant sur le peu d'information disponible à l'époque, le Canada a établi que le dépôt de sulfates humides ne devrait pas dépasser 20 kg par hectare par année. On estimait alors que ce niveau ne causerait pas d'effets néfastes aux écosystèmes aquatiques modérément sensibles. Il devint l'objectif visé par les efforts de réductions des émissions d'anhydride sulfureux.

Le programme de lutte dans l'est du Canada contre les pluies acides fut mis en oeuvre en 1985. Les sept provinces de l'est du Canada consentaient alors à réduire de moitié leurs émissions annuelles de SO_2 avant 1994. Le niveau d'émissions permis en 1980, chiffré à 4 516 kilotonnes fut adopté comme niveau de base. Les limites supérieures des émissions annuelles de SO_2 furent fixées pour chaque province (figure 1.1.2). Elles totalisaient 2000 kilotonnes. Le reste, soit 174 kilotonnes, sera réparti d'ici à 1991 par le Conseil canadien des ministres de l'environnement.

Pour faciliter la mise en oeuvre du programme de contrôle, le gouvernement fédéral accorde son soutien au développement des technologies propres à réduire les émissions de SO_2 à la source. Les gouvernements fédéral et provinciaux mettent des fonds à la disposition des industries pour les aider à instaurer des mesures de réduction d'émissions.

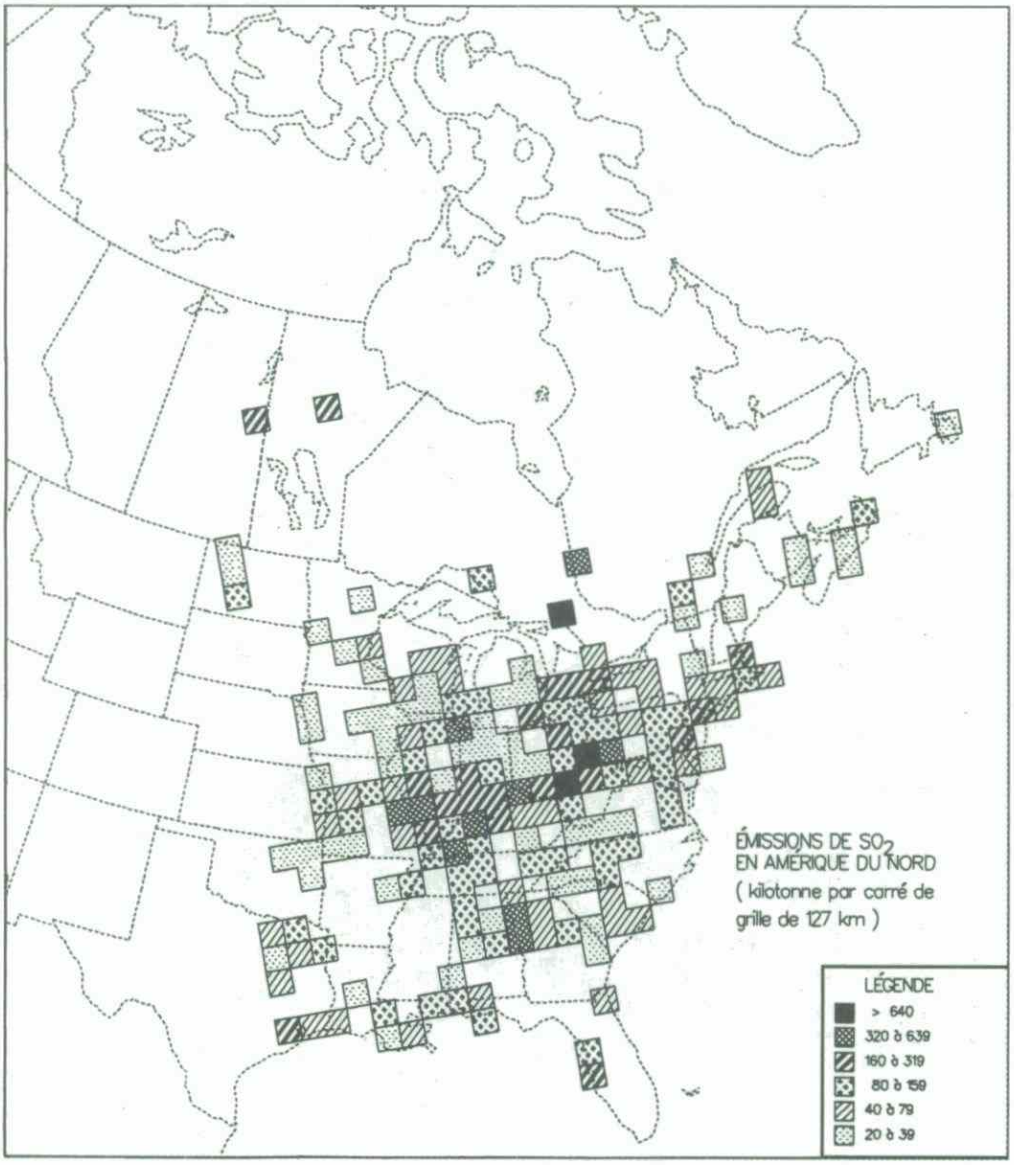
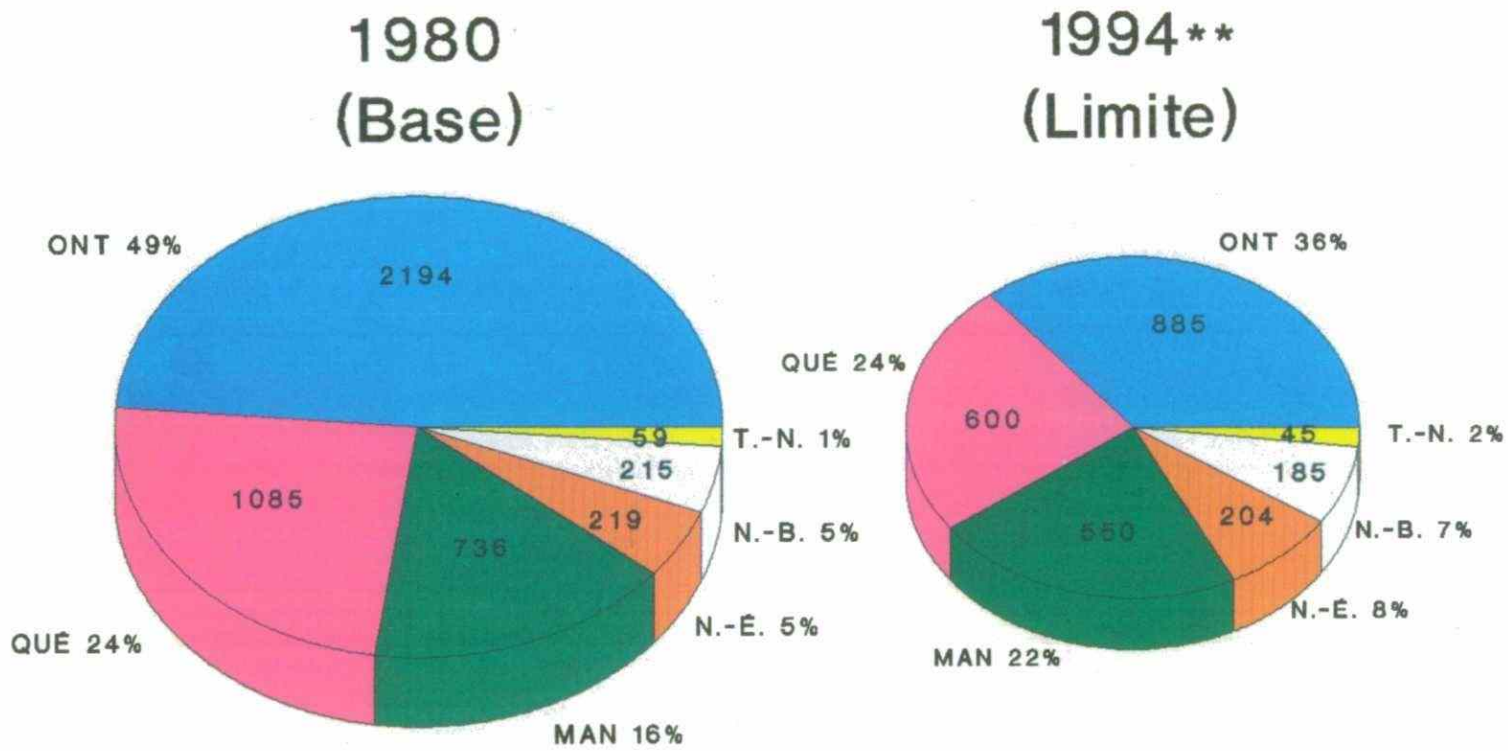


Figure 1.1.1 Émissions de SO_2 en Amérique du Nord en 1985.

ÉMISSIONS DE SO_2 DANS L'EST DU CANADA

Contributions Provinciales (kilotonnes)



* Les valeurs de l'I.-P.É. sont negligeables

** Une réduction additionnelle de 174 kilotonnes de SO_2 sera allouée parmi les provinces avant 1994.

Figure 1.1.2 Émissions de SO_2 dans l'est du Canada - Contributions provinciales (kilotonnes)

Les gouvernements du Manitoba, de l'Ontario et du Québec ont adopté des lois qui fixent les limites supérieures d'émissions provenant des sources importantes de SO_2. Dans les provinces atlantiques, où les sources principales des émissions sont les centrales électriques appartenant aux gouvernements, des stratégies ont été mises au point pour limiter les émissions et atteindre les réductions prescrites.

Au Québec, les programmes de contrôle furent généralisés en 1990. Dans les autres provinces, les programmes de réductions et de restrictions seront en place d'ici à 1994. Certaines limites provisoires sont en application pour les émetteurs importants en Ontario et pour Inco à Thompson (Manitoba).

Les accords conclus entre le gouvernement fédéral et les provinces, à l'exception de l'Accord Canada-Ontario, expireront en 1994. L'engagement pris par le gouvernement de l'Ontario de limiter les émissions de SO_2 à 885 kilotonnes restera en vigueur sur une période dont la limite n'a pas été fixée. Les accords avec les six autres provinces prévoient la négociation de nouveaux accords visant à prolonger les réductions ou les limites prévues au-delà de 1994.

Les recherches ont indiqué que les réductions canadiennes ne suffiront pas à elles seules pour atteindre l'objectif de 20 kg/ha/année Elles devront être accompagnées d'une réduction de 50 % du SO_2 provenant des États-Unis. En conséquence, le Canada a encouragé les États-Unis à mettre en oeuvre son propre programme de réduction des pluies acides et de conclure un accord bilatéral à cet égard.

Dans l'ouest du Canada, le problème des pluies acides n'est pas aussi pressant car les dépôts par la pluie acide sont plus faibles et les terrains sont généralement moins vulnérables. Néanmoins, le gouvernement fédéral et les gouvernement du Manitoba, de la Saskatchewan, de l'Alberta, de la Colombie-Britannique et des Territoires du Nord-Ouest ont reconnu le danger qui guettait certaines régions vulnérables et cautionnent depuis 1980 un programme conjoint de recherche et de surveillance.

1.1.2 L'OZONE AU NIVEAU DU SOL

L'ozone dont les effets sur la santé humaine et la végétation peuvent être graves, est produit dans la basse atmosphère par des réactions photochimiques où se retrouvent des émissions naturelles et anthropogéniques de composés organiques volatiles (COV) et d'oxyde d'azote (NO_x). Au Canada, une large part de l'ozone au niveau du sol provient des émissions nationales de NO_x et COV. Par contre, dans certaines régions de l'est canadien la contribution en provenance des États-Unis prédomine. En été, environ la moitié de la population canadienne est souvent exposée à niveaux d'ozone supérieurs au niveau national acceptable, soit des concentrations supérieures à 82 parties par milliard pendant plus d'une heure.

Le Canada a pris des mesures visant à réduire les émissions de NO_x et de COV provenant tant des automobiles et que des véhicules lourds construits depuis 1988. De nouvelles réductions d'émissions correspondant aux normes de la Californie ont été annoncées pour les automobiles. Les gouvernements fédéral et provinciaux ont imposé des limites aux émissions de NO_x provenant des centrales électriques.

Le conseil canadien des ministres pour l'environnement a décidé qu'un Plan national destiné à résoudre le problème des NO_x, des COV et de l'ozone serait mis au point d'ici à l'automne de 1990. En mars 1990, une ébauche est publiée pour donner lieu aux commentaires du public, et elle devait être examinée par les ministres en novembre 1990. L'objectif du plan est de réduire les émissions de NO_x et de COV provenant de sources diverses comme les automobiles, les centrales électriques, les chaudières industrielles et commerciales, les moteurs fixes et les turbines à combustion, ainsi que les pertes de vapeurs provenant du transport, du stockage et de la consommation de l'essence.

1.2 COMMENT LES INDUSTRIES ET LES SERVICES PUBLICS CANADIENS ONT-ILS RÉAGI ENVERS LE PROGRAMME DE CONTROLE DE L'ANHYDRIDE SULFUREUX DANS L'EST DU CANADA ? QUELS SONT LES FRAIS ENCOURUS ET QUELS SERONT LEURS INCIDENCES SUR LES INDUSTRIES ET LES COLLECTIVITÉS LOCALES ?

Les principaux émetteurs de SO_2 dans l'est du Canada se répartissent entre six grandes fonderies de cuivre, de zinc et de nickel, une usine de frittage de minerai de fer et trois centrales électriques appartenant à des provinces :

- Hudson Bay Mining and Smelting (HBMS), Flin Flon (Manitoba)
- Inco, Thompson (Manitoba)
- Inco, Sudbury (Ontario)
- Falconbridge, Sudbury (Ontario)
- Algoma Steel, Wawa (Ontario)
- Ontario Hydro
- Noranda, Rouyn (Québec)
- Noranda, Murdochville (Québec)
- New Brunswick Electric Power Commission (NBEPC)
- Nova Scotia Power Commission (NSPC).

Entre 1987 et l994 les principaux émetteurs auront investi environ 1,7 milliard de dollars dans des projets de grande envergure pour réduire leurs émissions de SO_2. La moyenne de leurs investissements annuels pour cette période se chiffre à 248 millions de dollars. Pendant les quatre dernières années, les investissements dans ces projets seront voisins de 352 millions de dollars.

Les investissements dans les projets de grande envergure continueront au-delà de 1993. C'est ainsi que Toronto Hydro continuera d'investir 206 millions de dollars par an, de 1994 à la fin de 1998, dans des projets de réduction d'émissions, afin de les maintenir au-dessous de la limite visée tout en favorisant l'accroissement de la production d'électricité. Nova Scotia Power investira encore 170 millions de dollars entre 1994 et 2010 dans le même but.

Dans certains cas, les compagnies participant au programme ont indiqué qu'elles pourraient être en mesure de réduire davantage leurs émissions au-delà de 1994. Hudson Bay Mining and Smelting, Inco (Sudbury), Falconbridge, Ontario Hydro, Noranda (Rouyn) et Nova Scotia Power ont indiqué que de nouvelles réductions seraient possibles à la fin des années 1990 ou au cours du XXIe siècle. Toutefois, il reste cependant des problèmes techniques et opérationnels à résoudre.

1.2.1 FONDERIES

Hudson Bay Mining and Smelting (HBMS) et Inco (Sudbury) sont en train de modifier leurs fonderies afin de réduire les émissions et d'améliorer leur efficacité et leur compétitivité sur les marchés mondiaux. La modernisation des fonderies abaissera les coûts d'exploitation grâce surtout à la réduction des besoins en main-d'oeuvre et en énergie, créera un milieu de travail plus sain et améliorera la récupération du métal. À long terme, la diminution des coûts d'exploitation et d'entretien compensera l'investissement de capitaux chez Inco (Sudbury) et HBMS.

Inco (Thompson) réduira ses émissions jusqu'aux limites fixées en extrayant davantage le soufre de l'alimentation concentrée dans les fourneaux, par la séparation et le rejet de la pyrrhotine (minéral riche en soufre) présente dans le minerai.

Falconbridge s'est modernisée en 1978. Pour parvenir à réduire les émissions jusqu'aux limites fixées pour 1994, elle emploiera plusieurs techniques dont le rejet de la pyrrhotine, l'accroissement du temps de grillage et une meilleure utilisation des fours électriques.

Algoma Steel a réussi à limiter ses émissions jusqu'aux normes prévues en réduisant sa production à Wawa depuis le milieu des années 1980, en raison des conditions du marché et de l'état de l'usine.

Une usine de récupération d'acides a été construite à la fonderie Noranda-Rouyn afin de réduire les émissions de 50 %. Cette usine commença à opérer en novembre 1899.

Noranda (Murdochville) est une petite fonderie spéciale. Pour atteindre les normes des émissions prévues pour pour 1990, elle utilisera une usine de récupération d'acides, construite au début des années 1980, pour capter et traiter l'anhydride sulfureux.

Les changements touchant les procédés d'exploitation auront des effets positifs et négatifs sur les coûts d'exploitation et d'entretien en 1994 et au-delà. C'est ainsi que l'Inco (Sudbury) compte réaliser à cet égard une économie annuelle de 64 millions de dollars, HBMS s'attend à faire quelques économies, Falconbridge ne prévoit que peu de frais, Noranda prévoit une augmentation des frais annuels à Rouyn, et Inco (Thompson) prévoit une augmentation des frais d'exploitation d'au moins 13 millions de dollars par an.

Aux niveaux local et régional l'emploi devrait accuser une hausse pendant la phase de construction chez HBMS, Inco (Sudbury) et Noranda. Chez HBMS et Inco (Sudbury) on enregistrera chaque année une réduction du personnel d'exploitation et d'entretien, mais cette réduction sera plutôt le fait de départs naturels que de licenciements. Les départs usuels chez Inco (Sudbury) contrebalanceront très largement les besoins moindre en main-d'oeuvre en 1990, de sorte que d'ici à1994 Inco verra ses effectifs grossir de 500 nouveaux employés. Falconbridge et Noranda prévoient que sur le plan du personnel d'exploitation et d'entretien, le changement sera minime, sinon nul. Chez Inco (Thompson) on prévoit une augmentation du personnel d'exploitation et d'entretien de l'ordre d'au moins 16 années personne.

Bien que les gouvernements fédéral et provinciaux aient offert une aide financière aux industries pour réduire les émissions de SO_2, Noranda (Rouyn) est, jusqu'à ce jour, la seule fonderie qui en ait fait usage en acceptant des prêts remboursables aux gouvernements intéressés. HBMS, de son côté, a présenté une demande d'aide fédérale et provinciale. Les autres compagnies absorberont les coûts des mesures de réduction des émissions.

1.2.2 CENTRALES ÉLECTRIQUES

En ce qui concerne les centrales électriques, les limites d'émissions ont été fixées pour leur ensemble plutôt que les centrales individuelles. Pour atteindre les normes prévues pour 1994 et au-delà, Ontario Hydro, New-Brunswick Power et Nova Scotia Power doivent mettre au point des stratégies propres à minimiser les émissions de leurs futurs systèmes de production énergétique et pas uniquement des systèmes actuellement en exploitation. New Brunswick Power et Nova Scotia Power ont l'intention de mettre en exploitation leurs nouvelles centrales au charbon avant 1994. Par contre, Ontario Hydro n'envisage pas d'adjoindre ce type de production d'électricité à son système actuel avant 1994, ni même avant la fin du siècle.

Pour réduire les émissions provenant des centrales actuellement en exploitation, les services publics devront soit réduire la teneur en soufre du combustible, soit construire des épurateurs pour capter et traiter davantage de SO_2.

Dans leurs nouvelles centrales et génératrices, New Brunswick Power et Nova Scotia Power feront appel à des technologies capables d'éliminer 90 % du SO_2 produit. Pour

ce faire, Nova Scotia Power aura recours à la technologie dite de «lits fluidifiés désulfurants» à sa nouvelle centrale de Point Aconi tandis que New Brunswick Power utilisera la technologie de combustion classique avec un épurateur.

À plus long terme, qui se prolongera au-delà de l'an 2000, les centrales électriques publiques pourraient modifier leurs moyens de production électrique en vue de réduire leurs émissions. À Ontario Hydro et Nova Scotia Power, on pourrait avoir recours à l'énergie nucléaire et à l'achat d'électricité produite hors des provinces concernées ou par des stations privées. En Nouvelle-Écosse, la ressource qui s'impose dans un «avenir prévisible» est le charbon. On s'attend aussi à ce que des initiatives de gestion de la demande contribuent à un usage plus efficace de l'électricité dans les trois provinces.

Au cours des années 1990, Ontario Hydro dépensera 1,7 milliards de dollars dans des projets de grande envergure pour réduire ses émissions. La société investira jusqu'à 2,7 milliards de dollars pour la mise en oeuvre intégrale de ses mesures de réduction d'émissions d'ici à la fin du siècle. Nova Scotia Power investira quelque 300 milllions de dollars au cours des 20 prochaines années pour réduire d'environ 50 % les niveaux actuels des émissions de SO_2. Les informations concernant New Brunswick Power ne sont pas encore disponibles.

À Ontario Hydro, les mesures propres à maîtriser le SO_2 et les NO_x devraient, d'ici à l'an 2000, se solder par une augmentation annuelle des coûts d'exploitation et d'entretien de 114 millions de dollars. Pour sa part, New Brunswick Power a indiqué que ses coûts subiraient une hausse annuelle d'au moins 40 millions de dollars. À Nova Scotia Power, on estime que ces frais seront de 70 millions de dollars pour la même période.

Pour couvrir ses investissements dans des projets essentiels ainsi que la hausse des frais d'exploitation et d'entretien, Ontario Hydro majorera ses tarifs d'électricité. La société a estimé que son programme de réduction des émissions l'obligera à augmenter régulièrement ses tarifs entre 1990 et la fin du siècle. Au départ, les mesures de réduction des émissions se traduiront par une hausse annuelle des tarifs de 1 % entre 1990 et la fin de 1993, suivie par une hausse annuelle moyenne de 2,8 % entre 1994 et la fin du siècle. La hausse des tarifs atteindra son apogée en 1998 avec un taux de 3,4 %. Nova Scotia Power a indiqué qu'elle augmentera ses tarifs d'électricité en fonction du taux d'inflation. New Brunswick Power n'a donné aucune information sur les hausses de tarif à prévoir.

La phase de la construction devrait s'accompagner, chez Ontario Hydro, d'une hausse des possibilités d'emploi sur les plans local et régional. Chaque paire d'épurateurs ajoutée au système de génération nécessitera la création d'emplois à raison de 1 400 années-personne étalées sur une période de cinq ans. La construction prévue de 4 paires d'épurateurs à Lambton et Nanticoke pourrait créer des emplois jusqu'à concurrence de 5 600 années-personne de 1990 à 2000. Le personnel d'exploitation annuel augmentera de 100 à 240 années-personne à l'un et l'autre sites.

1.3 QUELS SONT LES NIVEAUX ANCIENS ET ACTUELS DES ÉMISSIONS D'ANHYDRIDE SULFUREUX, D'OXYDES D'AZOTE ET DE COMPOSÉS ORGANIQUES VOLATILES ?

Au cours des deux dernières décennies, on a observé une diminution notable des émissions de SO_2 en Amérique du Nord. Entre 1980 et 1985, aux États-Unis, les émissions ont baissé d'environ 15 %, passant de 24,5 à 20,9 millions de tonnes. Au Canada, la diminution était d'environ 20 %, soit de 4,6 à 3,7 millions de tonnes (figure 1.3.1). Cette tendance est largement attribuable à une combinaison d'initiatives sur le plan de la réglementation et des améliorations des procédés de fabrication dans l'industrie sidérurgique, à la désulfurisation des gaz de carneau dans les centrales électriques alimentées au charbon et à l'usage généralisé de combustibles plus propres. Ces émissions (20,2 millions de tonnes en 1985) proviennent en majeure partie de l'est de l'Amérique du Nord (les États à l'est du Mississippi et les provinces à l'est de la Saskatchewan), la composante canadienne constituant environ 14 % du chiffre global. D'après les données préliminaires pour 1986 et 1987, la diminution des émissions dans l'est de l'Amérique du Nord se serait stabilisée pendant cette période.

Les émissions globales annuelles de NO_x en Amérique du Nord, qui avaient plus que doublé depuis le début des années 1950, ont diminué de 8 %, passant de 22,3 à 20,6 millions de tonnes par an au cours de la période 1980-1985. Aux États-Unis, la diminution était d'environ 9 % (de 20,4 à 18,7 millions de tonnes). Elle semble être liée à la diminution des émissions provenant des automobiles sur les voies à grande circulation. Au Canada, ces émissions se sont maintenues à environ 1,9 million de tonnes au cours de cette même période de six ans malgré l'augmentation de la circulation routière et de l'activité économique (figure 1.3.2). Comme pour le SO_2, la région est de l'Amérique du Nord est aussi responsable de la production la plus importante de NO_x (65 %). En 1985, elle était de 12,3 millions de tonnes pour l'est des États-Unis, et de 1,1 million de tonnes pour l'est du Canada. Les informations préliminaires sur les émissions pour 1986 et 1987 suggèrent que la production globale de NO_x dans l'est de l'Amérique du Nord accuserait une légère augmentation depuis 1985.

Entre 1970 et 1985, les émissions totales d'hydrocarbures ont augmenté de 15 %, passant de 2 millions à 2,3 millions de tonnes (figure 1.3.3). Les sources principales d'hydrocarbures étaient et sont toujours les véhicules à essence, les raffineries, les usines pétrochimiques, les applications d'enduits de surfaces et l'usage de solvants.

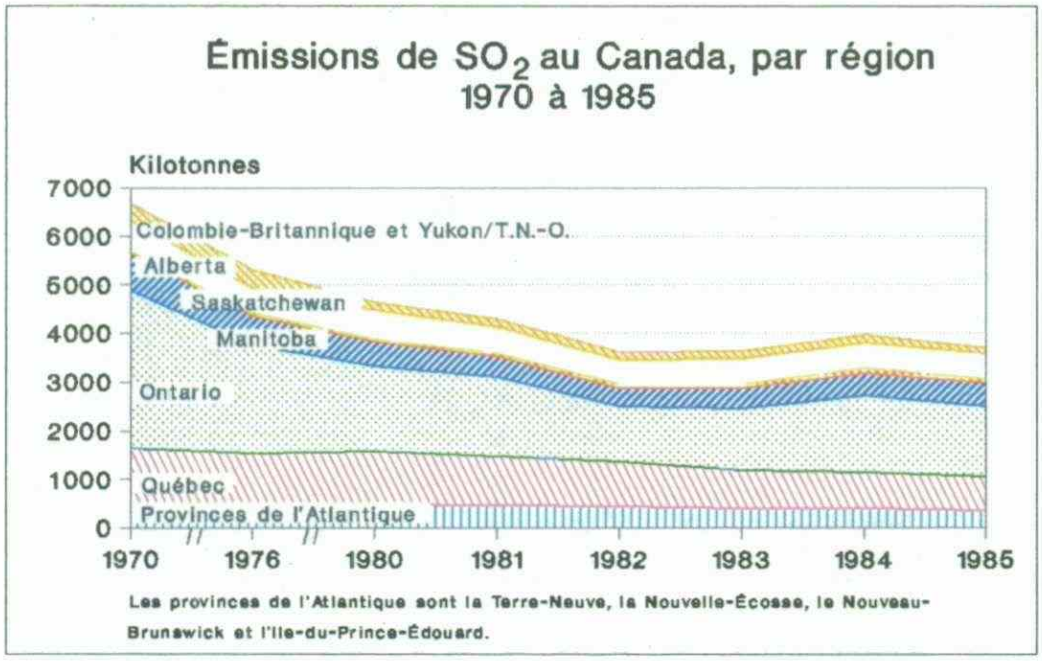


Figure 1.3.1 Émissions de SO_2 au Canada, par région (1970 à 1985)

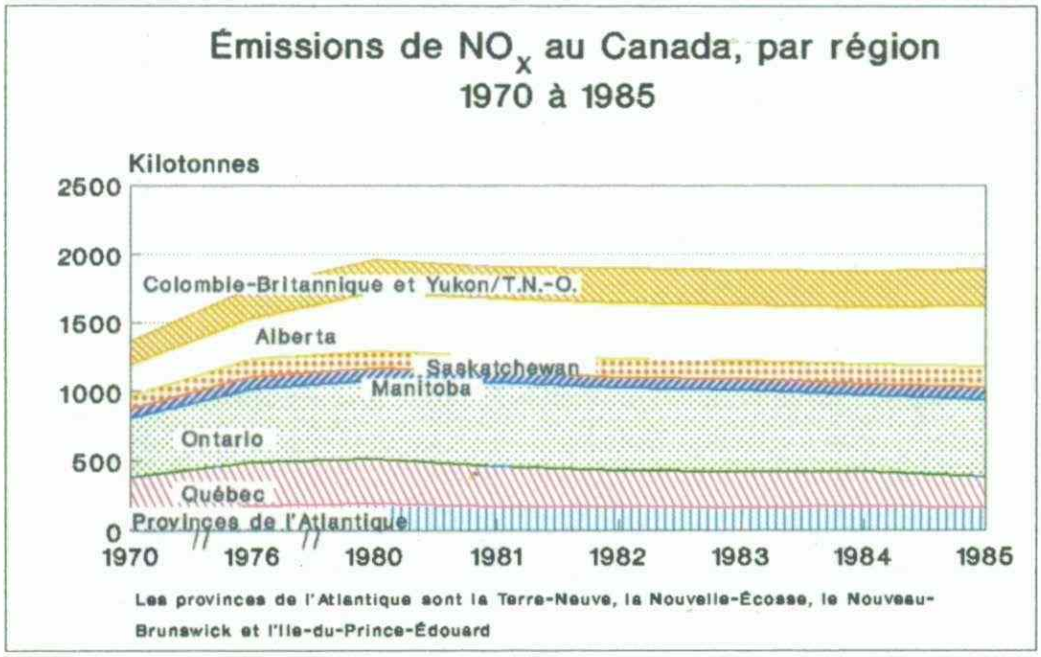


Figure 1.3.2 Émissions de NO_x au Canada, par région (1970 à 1985)

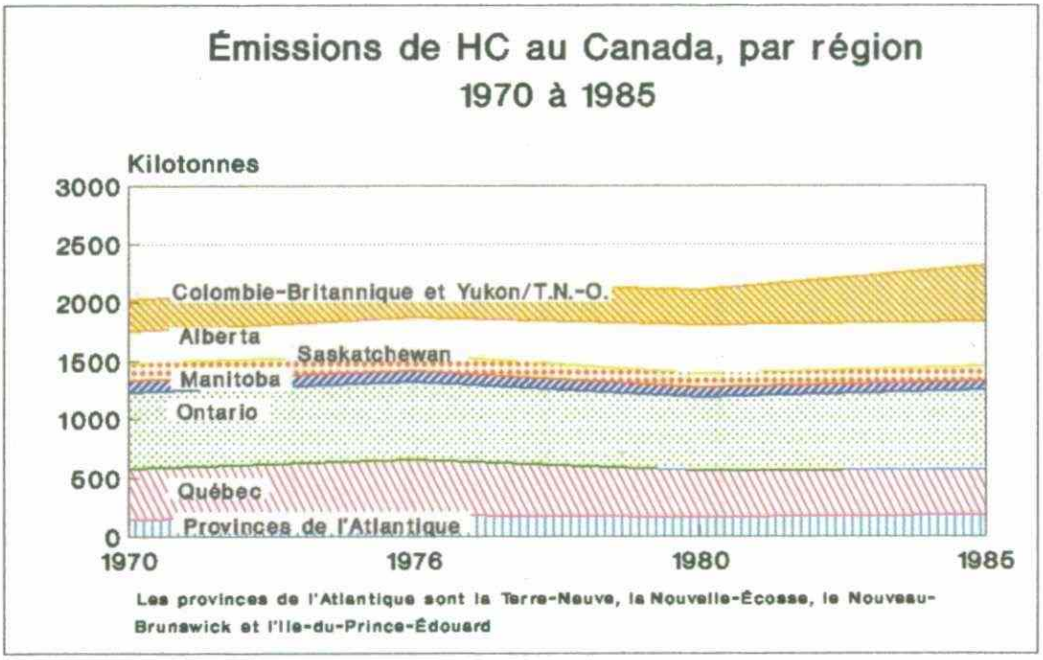


Figure 1.3.3 Émissions de HC au Canada, par région (1970 à 1985)

1.4 COMMENT L'ENVIRONNEMENT CANADIEN A-T-IL RÉAGI AUX POLLUANTS VÉHICULÉS PAR L'AIR ?

Depuis le début des principaux programmes de recherche sur les pluies acides à la fin des années 1970, on a déployé des efforts considérables pour déterminer l'importance des émissions d'anhydride sulfureux (SO_2) et d'oxydes d'azote (NO_x), de leurs concentrations dans l'air ambiant, des acides qu'ils déposent sur la surface terrestre et des dommages qu'ils causent aux écosystèmes terrestres et aquatiques, ainsi qu'à la santé humaine. Depuis presque une décennie, nous nous livrons à une surveillance intensive qui nous permet de tirer des conclusions sur l'état actuel du problème des pluies acides au Canada.

Le programme de recherches comprenait des études qui ont fourni aux gouvernement fédéral et provinciaux des données fiables pouvant servir de base de discussion sur le contrôle des émissions. Les programmes d'assurance de la qualité ont été intégrés aux programmes de recherche atmosphérique et aquatique. On les incorpore aussi aux études terrestres. Depuis 1982, trois études interlaboratoires et intercomparatives sont menées chaque année pour les laboratoires fournissant des données aux programmes concernant le TGDPA. La plupart des laboratoires ayant participé à ces études ont grandement amélioré leurs résultats.

1.4.1 CONCENTRATIONS ATMOSPHÉRIQUES ET DÉPÔTS

Des programmes de surveillance de l'air et des précipitations appliqués au Canada depuis la fin des années 1970 ont déjà fourni des données de haute qualité. Ces données continuent de confirmer la correspondance d'ordre géographique entre les émissions de SO_2 et de NO_x, et leurs concentrations atmosphériques et les dépôts humides de substances acides; on retrouve les concentrations et les dépôts maximaux sous le vent des régions d'émissions maximales. Les variations temporelles des dépôts d'acides dans l'est du Canada correspondent aux changements intervenus dans les émissions provenant de l'est des États-Unis entre 1980 et 1987. On a observé un rétrécissement de la région recevant plus de 20 kg/ha/année des dépôts de sulfate humide, mais pas de changement à grande échelle en ce qui concerne le dépôt de nitrate humide (figures 1.4.1 et 1.4.2).

Dans certains endroits de l'est du Canada où l'on prend régulièrement des mesures aérométriques depuis une dizaine d'années, on a observé des diminutions de SO_2, principal composé sulfurique dans l'air. Ces endroits sont situés dans ou sous le vent des régions où les émissions de SO_2 ont décru de plus de 10 %. Les variations de quantité de sulfate et de nitrate observés dans les précipitations correspondent généralement aussi aux émissions de SO_2 et de NO_x (figures 1.4.3 et 1.4.4).

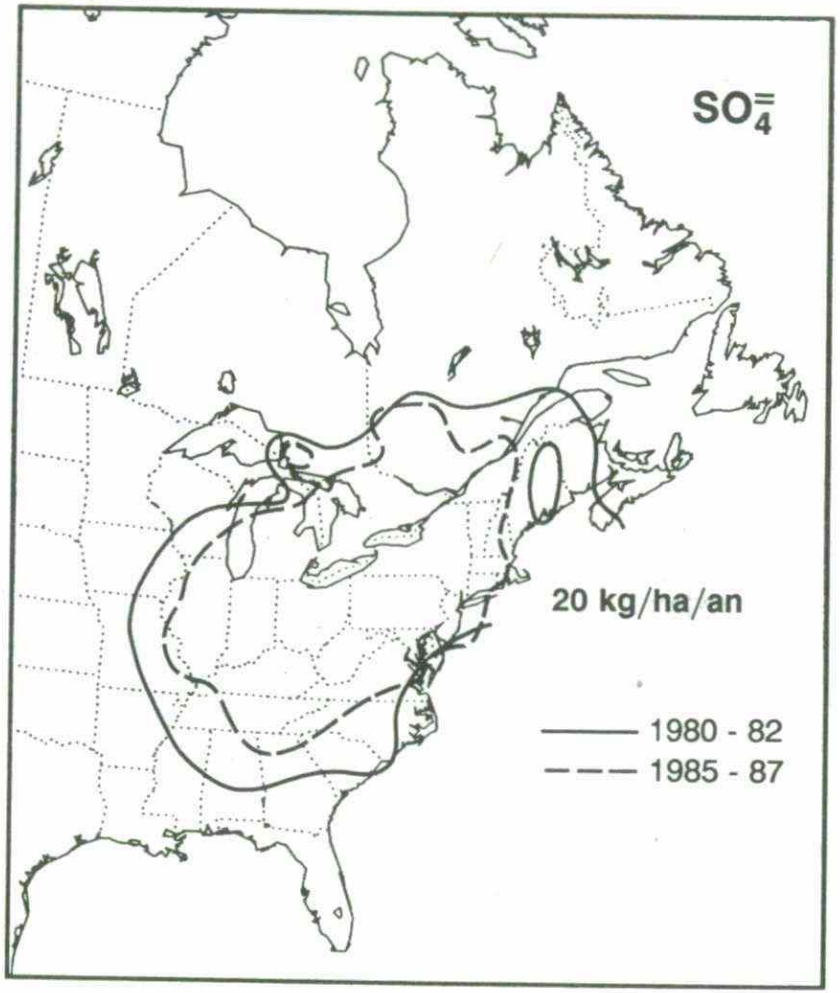


Figure 1.4.1 Régions de dépôts annuels de sulfates dépassant 20 kg/ha/année pour les années 1980 à 1982 et 1985 à 1987.

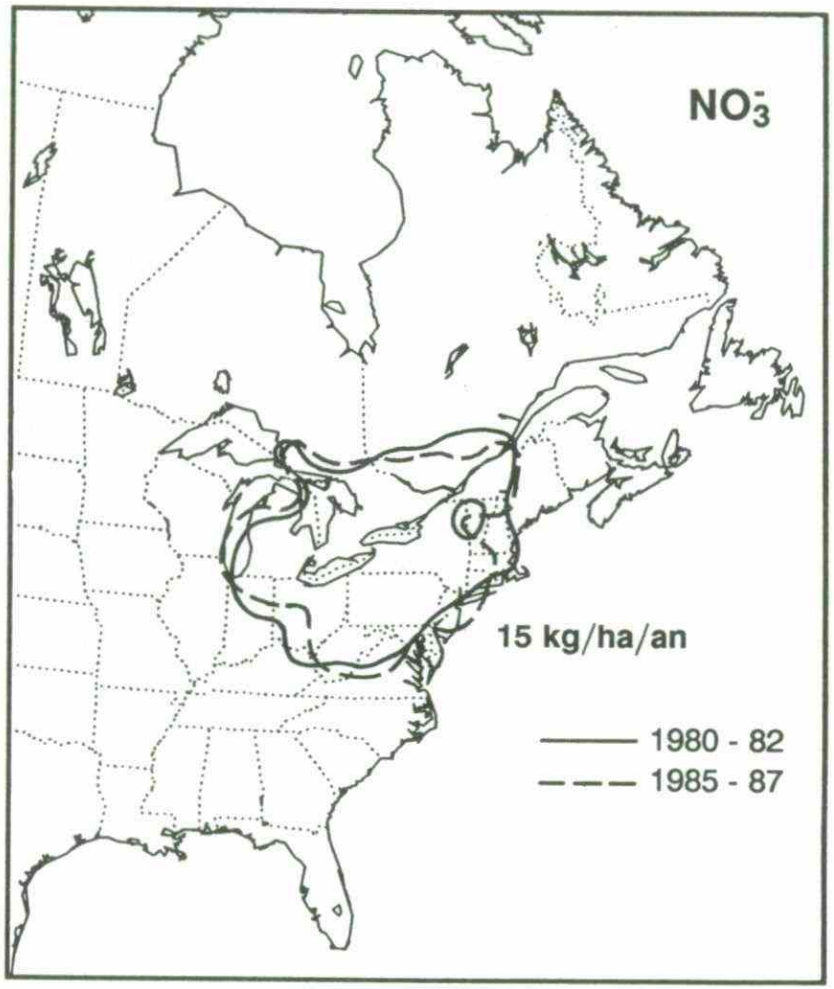


Figure 1.4.2 Régions de dépôts annuels de nitrates dépassant 15 kg/ha/année pour les années 1980 à 1982 et 1985 à 1987.

Différence en pour cent de la moyenne de 3 ans (1980-82, 1985-87) des concentrations de $SO_4^=$ en excès

figure 1.4.3

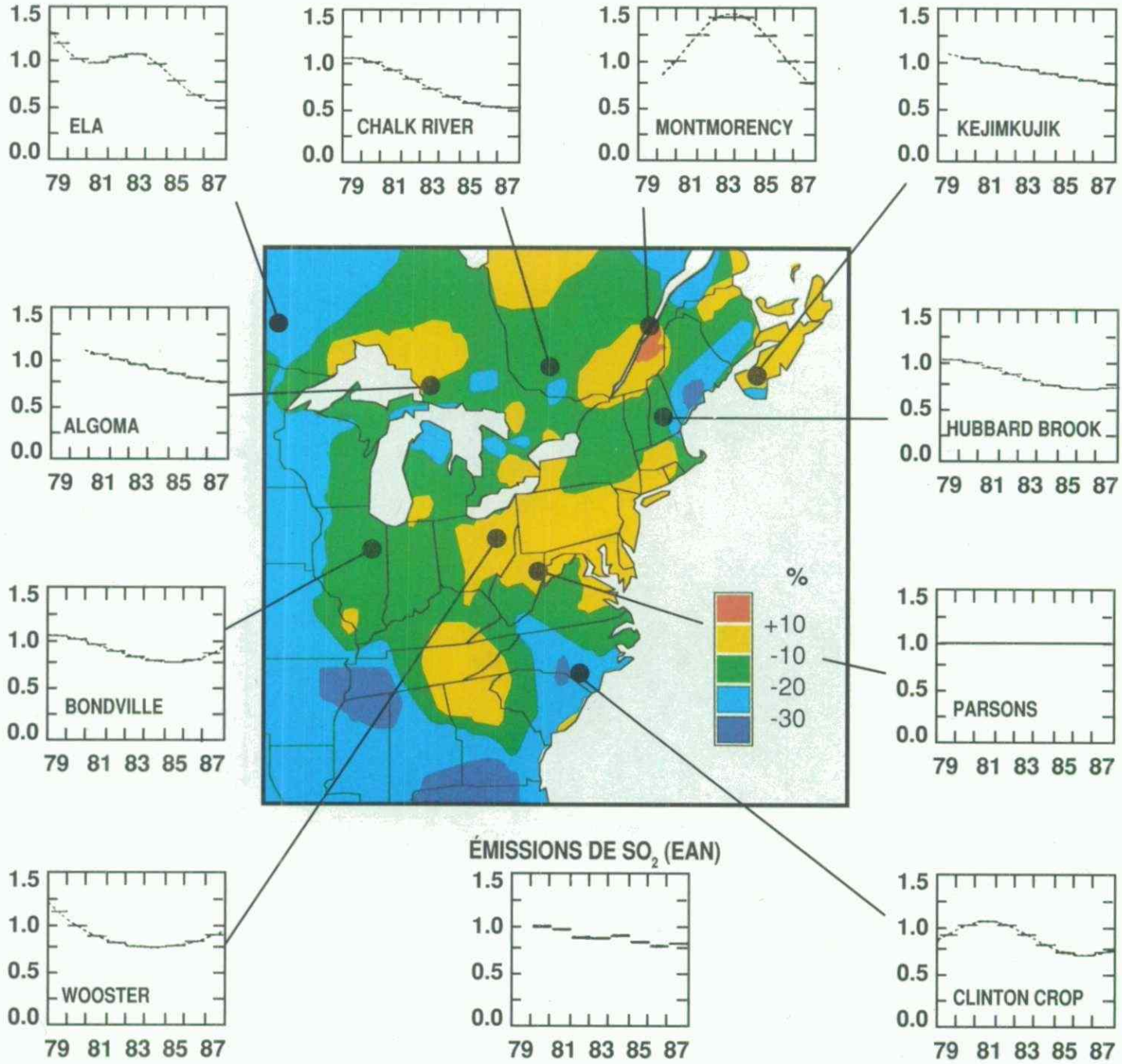


Figure 1.4.3 La carte centrale montre les changements régionaux du contenu moyen de sulfate dans les précipitations entre 1980-82 et 1985-87. Le graphique sous la carte représente les changements des émissions de SO_2 pendant cette période. Ceux qui l'entourent montrent les changements à chaque station. Les données sont normalisées par rapport au niveau de référence (1980). *EAN: L'Est de l'Amérique du Nord*.

Différence en pour cent de la moyenne de 3 ans (1980-82, 1985-87) des concentrations de NO_3^-

figure 1.4.4

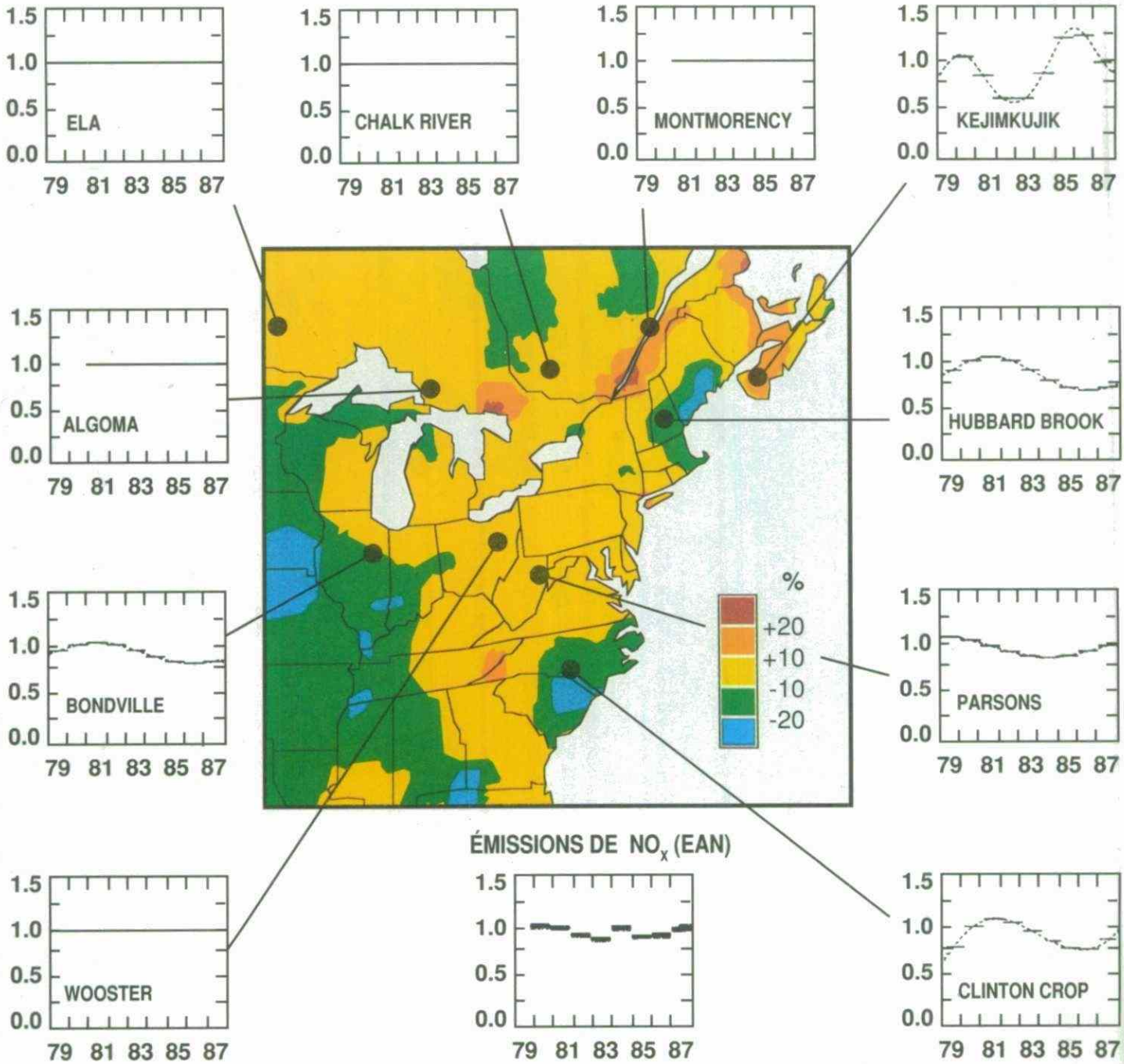


Figure 1.4.4 La carte centrale montre les changements régionaux du contenu moyen de nitrate dans les précipitations entre 1980-82 et 1985-87. La plupart des changements sont inférieurs à 10%. Ces résultats sonts en accord avec le fait que les émissions n'ont que très peu changé pendant cette période (voir le graphique sous la carte). Les graphiques entourant la carte montrent les changements à chaque station. Les données sont normalisées par rapport au niveau de référence (1980). *EAN: L'Est de l'Amérique du Nord.*

Les informations sur les émissions et les dépôts ne permettent pas à elles seules de déterminer dans quelle mesure une région productrice donnée contribue aux dépôts d'acides dans une région réceptrice. Cependant, on peut tirer certaines conclusions en étudiant la trajectoire des masses d'air, ou en analysant certains composés particuliers dont on connaît la source. Ces analyses confirment les estimations précédentes indiquant que 50 % au moins de l'acide déposé dans l'est du Canada provient des États-Unis.

Le dépôt de sulfate dans l'ouest du Canada est généralement inférieur à 10 kg/ha/année. Ce n'est qu'au sud-ouest de la Colombie-Britannique et au sud de l'Alberta et de la Saskatchewan que l'on retrouve les niveaux des dépôts de sulfate humide supérieurs à 10 kg/ha/année. Exception faite du sud-ouest de la Colombie-Britannique, on peut attribuer ces dépôts élevés à des sources naturelles comme le sel marin et la poussière terrestre.

Le bas de la vallée du Fraser (C.-B.), corridor Windsor-Québec et les provinces maritimes sont soumises à de graves problèmes d'ozone au niveau du sol. Toutefois, les seuls sites ruraux qui ont des statistiques suffisantes prêtant à l'analyse des tendances se trouvent dans le sud ontarien. On n'y a relevé aucune tendance notable de concentrations d'ozone atmosphérique au niveau du sol entre 1979 et 1988, mais on a observé que les concentrations varient considérablement d'année en année, en raison des conditions météorologiques. Ces observations sont compatibles avec les faibles changements enregistrés dans les émissions de NO_x pendant cette période dans l'est de l'Amérique du Nord. L'analyse de la trajectoire des masses d'air démontre l'importance des régions émettrices au sud lors des cas de concentration élevée d'ozone.

1.4.2 LES EFFETS AQUATIQUES

Au Canada, 43% des terres sont sensibles aux dépôts d'acides (figure 1.4.5). Les terrains sensibles ont généralement un soubassement à gros grain sans carbonate. Ces caractéristiques sont typiques du Bouclier canadien. La coïncidence entre les terrains sensibles et les dépôts d'acides délimite les zones où l'on craint une détérioration possible des eaux. Dans l'est du Canada ces conditions sont réunies dans une zone à l'est de la frontière entre le Manitoba et l'Ontario, et au sud de la Baie James.

Le Canada est doté d'immenses réserves d'eau. Dans une région légèrement plus petite que celle décrite ci-haut (à l'est du 90e méridien), on a recensé presque 800 000 masses d'eau d'une superficie supérieure à 0,18 hectare. La banque de données qui a été compilée contient des informations d'ordre physique et chimique sur 8 505 lacs répartis dans l'est du Canada.

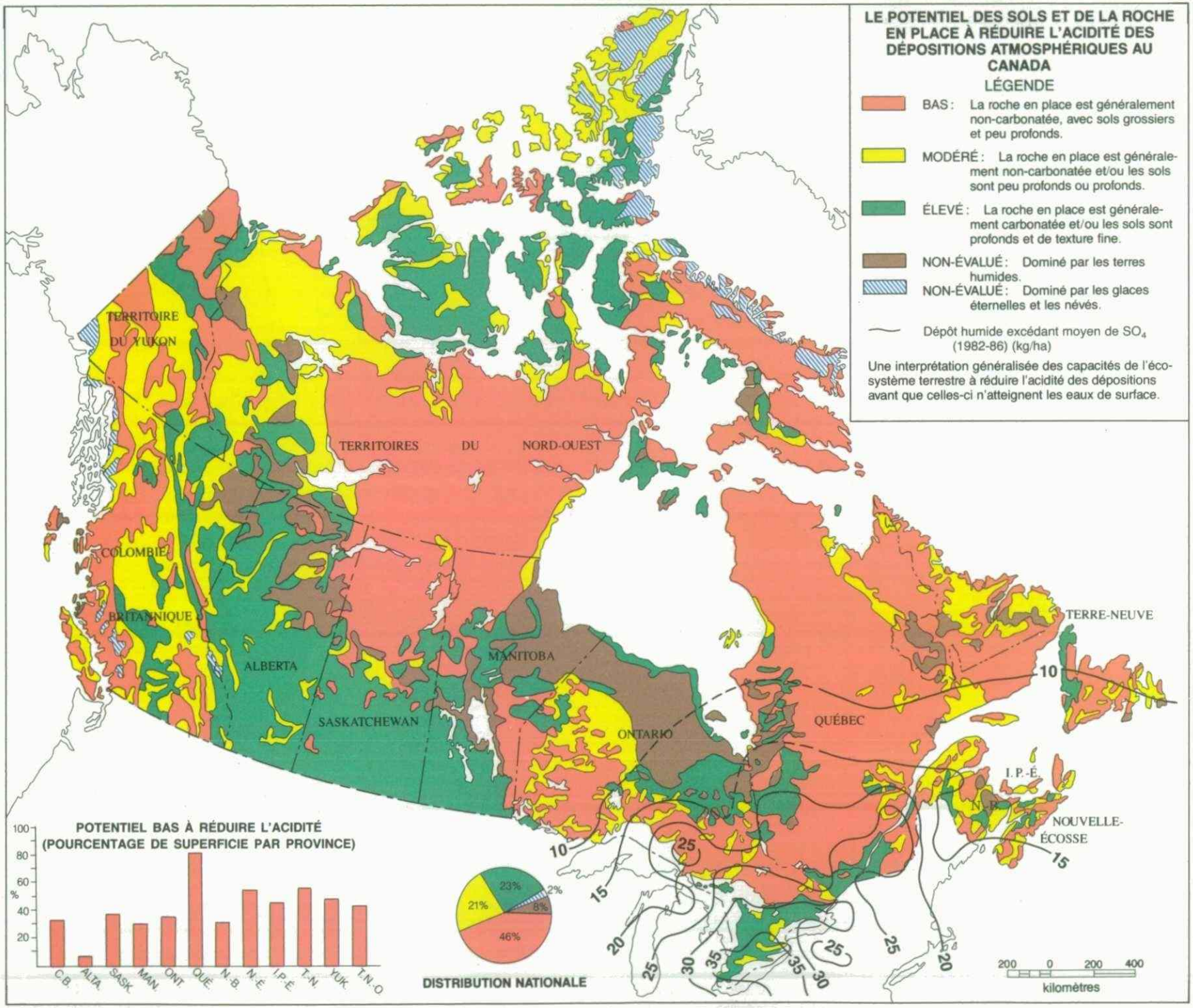

LE POTENTIEL DES SOLS ET DE LA ROCHE EN PLACE À RÉDUIRE L'ACIDITÉ DES DÉPOSITIONS ATMOSPHÉRIQUES AU CANADA
LÉGENDE
BAS : La roche en place est généralement non-carbonatée, avec sols grossiers et peu profonds.
MODÉRÉ : La roche en place est généralement non-carbonatée et/ou les sols sont peu profonds ou profonds.
ÉLEVÉ : La roche en place est généralement carbonatée et/ou les sols sont profonds et de texture fine.
NON-ÉVALUÉ : Dominé par les terres humides.
NON-ÉVALUÉ : Dominé par les glaces éternelles et les névés.
Dépôt humide excédant moyen de SO_4 (1982-86) (kg/ha)
Une interprétation généralisée des capacités de l'écosystème terrestre à réduire l'acidité des dépositions avant que celles-ci n'atteignent les eaux de surface.
TERRITOIRE DU YUKON
TERRITOIRES DU NORD-OUEST
COLOMBIE BRITANNIQUE
ALBERTA
SASKATCHEWAN
MANITOBA
ONTARIO
QUÉBEC
TERRE-NEUVE
I.P.-É.
N.-B.
NOUVELLE-ÉCOSSE
10
15
20
25
30
35
POTENTIEL BAS À RÉDUIRE L'ACIDITÉ (POURCENTAGE DE SUPERFICIE PAR PROVINCE)
%
100
80
60
40
20
C.B.
ALTA.
SASK.
MAN.
ONT.
QUE.
N.-B.
N.-É.
I.P.-É.
T.-N.
YUK.
T.N.-O.
23%
2%
21%
8%
46%
DISTRIBUTION NATIONALE
200 0 200 400
kilomètres

figure 1.4.5

On dit qu'un lac est acidifié quand sa capacité tampon, c'est-à-dire sa capacité de neutraliser l'acide, est inférieure ou égale à zéro. Les analyses indiquent que dans l'est du Canada il y a probablement plus de 31 000 lacs acidifiés d'une superficie supérieure à 0,18 hectares et 14 000 lacs acidifiés d'une superficie supérieure à 1 hectare. Si l'on excepte les régions contenant de gros émetteurs de SO_2 (Sudbury et Noranda), c'est dans les provinces atlantiques que l'on trouve la proportion la plus élevée de lacs acidifiés, ce qui trahit leur plus grande vulnérabilité. L'acidification des lacs de l'est du Canada est due davantage aux dépôts de sulfate qu'à ceux d'azote ou qu'aux agents acidifiants naturels comme les acides organiques ou les minéraux sulfurés du soubassement. L'acidification causée par les changements dans l'usage des terrains est considérée comme mineure.

La sensibilité des terrains de l'ouest et du nord du Canada est plus variable. Les zones les plus sensibles correspondent aux formations géologiques du Bouclier canadien (Manitoba, Saskatchewan, Alberta, Territoires du Nord-Ouest), aux tourbières (Alberta) ou au soubassement calcaire de la chaîne côtière et des îles de la Colombie-Britannique. Les données sur les lacs dans les régions de l'ouest et du nord du Canada, bien que peu nombreuses, confirment cette interprétation. Il semble que les bas niveaux actuels de dépôt d'acide dans l'ouest du Canada n'ont pas modifié notablement la chimie de l'eau dans la région, encore qu'on ait relevé quelques exemples d'acidification liée à des facteurs locaux.

Hormis l'acidification à long terme des eaux, l'incidence des périodes relativement acides peut causer la mort de certains organismes aquatiques. L'emprisonnement des acides dans la masse neigeuse de l'hiver peut conduire à la libération de concentrations exceptionnellement élevées de sulfate dans les premiers stades de la fonte des neiges, d'où les risques à court terme d'acidification des eaux de surface. Des phases d'acidification peuvent aussi être causées par le stockage provisoire de sulfate dans le bassin de réception, notamment dans les marécages , pendant les périodes de sécheresse. La libération du sulfate au début de la nouvelle période humide occasionne à court terme l'acidification des cours d'eau.

Les nappes souterraines constituent une importante proportion de toute l'eau utilisée au Canada. Dans de nombreux endroits, elles sont la source principale d'alimentation en eau d'usage domestique. Dans certains lieux qui ont fait l'objet d'études intensives, l'eau phréatique au-dessus de la nappe libre est touchée par les produits chimiques présents dans les précipitations et risque de s'acidifier de temps à autre pendant les plus fortes périodes de précipitations. L'eau phréatique au-dessous de la nappe libre, d'où provient généralement l'eau d'usage domestique, ne révèle que faiblement le degré d'acidification. Cet état de choses pourrait évidemment changer pour peu que le dépôt d'acide se poursuive à long terme.

Le rôle de l'azote sur l'acidification de l'eau en surface et du sous-sol est plus complexe que celui du soufre en raison de la présence de deux corps inorganiques importants : le

nitrate et les dérivés ammoniacaux, biologiquement plus actifs que le sulfate qui est la principale espèce de soufre. Les concentrations de nitrate dans les lacs canadiens étant faibles, l'acidification par dépôt d'azote ne prête pas à conséquence pour le moment. On a cependant relevé des cas isolés de concentrations élevées qui laissent craindre une présence plus notable de nitrate dans l'avenir, compte tenu surtout du fait que le dépôt de nitrate est resté constant, contrairement au sulfate qui au cours de la dernière décennie a accusé une diminution.

Les espèces de microfossiles sensibles à l'acide, enfouis dans les sédiments ont servi à déduire les modifications importantes du pH dans les lacs. Neuf des 36 lacs étudiés ont connu, au cours des 100 ou 150 dernières années, une baisse de pH attribuable aux dépôts d'acide. Ces lacs sont situés dans toutes les régions de l'est du Canada. Les études ont révélé la baisse du pH au cours des 50 ou 100 dernières années, ayant pour cause principale les émissions provenant des fours avoisinants, et la hausse de pH observée récemment, résultant de la réduction de ces émissions. Selon des études paléolimnologiques, les lacs d'Amérique du Nord qui reçoivent de faibles dépôts d'acide n'accusent aucune baisse de pH.

On dispose aujourd'hui d'un dossier fiable avec des données chimiques, échelonnées sur une dizaine d'années, sur un petit nombre de lacs et cours d'eau de l'est du Canada qui sont sensibles à l'acide. Certaines eaux comme celles de la région de Sudbury et Sault-Ste Marie, ont réagi rapidement à la réduction de dépôts acides; on y a décelé une amélioration notable sur le plan de leur composition chimique dans les années 1980. D'autres lacs n'ont pas encore réagi, à la suite sans doute du stockage temporaire des acides dans les marécages, et autres portions du bassin hydrologique.

Au cours des dix dernières années, on a grandement amélioré nos connaissances des effets des dépôts d'acides sur le biote aquatique. On possède aujourd'hui la preuve inéluctable que l'acidification exerce des effets nuisibles sur de nombreux organismes aquatiques. Le nombre total de poissons et autres espèces du biote aquatique commence à diminuer lorsque le pH est inférieur à 6 (tableau 1.4.1) et cette diminution accélère à mesure que décroît le pH. Lorsque le pH se situe au-dessous de 5,8, il se forme des nappes d'algues en bordure de nombreux lacs. Outre leur aspect disgrâcieux, ces nappes risquent de perturber les frayères. Dans lacs où le pH est inférieur à 5,6, certaines espèces importantes aux pêcheurs de plaisance disparaissent. D'autres, comme le saumon atlantique et la truite de ruisseau, peuvent survivre jusqu'au moment où le pH descend au-dessous de 5,1. De nombreuses espèces amphibiennes se reproduisant dans des mares provisoires qui s'acidifient rapidement sont mises à rude épreuve dès que le pH de ces eaux est inférieur à 4,5. Les effets de l'acidification sur les oiseaux des marécages se manifestent surtout par les changements de la qualité et de la quantité de leur nourriture. Chez certaines espèces vivant dans les lacs et les cours d'eau acidifiés, le taux de reproduction accuse un certain fléchissement. La conclusion essentielle à tirer de ces constatations est que si l'on veut maintenir et assurer la présence continue des poissons et des espèces importantes qui composent le biote des

écosystèmes aquatiques, il faut maintenir le pH au moins à 6.

Tableau 1.4.1 Exemples de disparition ou d'apparition (indiquée par un *) d'espèces aquatiques dans les eaux canadiennes pour trois gammes de pH entre 6,0 et 4,0. De façon générale, le nombre d'espèces de poissons, d'algues, de zooplanctons et de zoobenthos décroît à mesure que le pH s'affaiblit. Ce tableau n'indique que les noms communs; les noms scientifiques correspondants sont fournis dans le corps du texte.

	Plage de pH		
Taxons	6,0-5,6	5,5-5,1	5,0-4,0
Poissons	méné à nageoires rouges méné à tête plate	touladi meunier noir doré	perchaude truite mouchetée saumon atlantique
	chabot visqueux museau noir ventre-pourri	achigan à petite bouche grand corégone	
Algues	algue odorante tapis d'algues de rive*		
Zooplancton	mouche d'eau	2 espèces de copépodes	
Zoobenthos	3 espèces d'écrevisses crevette d'eau douce 1 espèce d'escargots 7 espèces d'éphémères	1 espèce d'amphipodes 5 espèces de sangsues 3 espèces d'éphémère	4 espèces d'éphémères
Amphibiens			Nombreuses espèces de grenouilles, crapauds et salamandres
Oiseaux des zones humides	Huard à collier	aigle pêcheur morillon à collier	hirondelle bicolore

Plusieurs lacs de l'Ontario ont soit perdu leur population de poissons important àla pêche de plaisance ou ont une population résiduelle impropre à la reproduction. On en estime comme suit le nombre en fonction des espèces: truites fardées - 119, truites de ruisseau - 43, achigans à petite bouche - 52, dorés - 14. Dans le sud-ouest du Québec, la richesse en espèces de poissons a subi un décroissement de 23 % depuis le début de l'acidification. En Nouvelle-Écosse, l'habitat du saumon atlantique a décru d'un tiers depuis 1950 à cause de l'acidification. La perte se situe donc aux alentours de 9000 à 14 000 saumons par an pour les pêcheries de saumons, soit en gros la moitié du volume de pêche annuel actuel.

Le transport à distance des substances acides résulte aussi en une plus grande exposition du biote aquatique aux métaux toxiques. Cette exposition se produit de trois façons : 1) les émetteurs anthropogéniques de sulfure libèrent aussi de grandes quantités de métaux; 2) plus de métaux peuvent être extraits par filtration en raison de l'acidité accrue de l'eau; et 3) les bioaccumulations de certains métaux peuvent s'accroître dans les environnements aquatiques acidifiés. La présence de ces métaux présente une menace potentielle pour la santé des mammifères et des oiseaux pour lesquels le biote aquatique est une source alimentaire régulière. On n'a pas encore de preuve directe d'un lien de cause à effet entre l'acidification des eaux de surface et les niveaux élevés de mercure dans un très grand nombre de poissons en Ontario et de cadmium chez les orignals de l'est du Canada. Toutefois, les circonstances pointent vers l'existance de ce lien. Ces métaux font peser une menace sur la santé des humains, et leur présence s'est traduite par des mesures restrictives sur la consommation de poisson et de viande d'orignal.

On sait peu de chose sur la rapidité du rétablissement de l'équilibre biologique consécutif à la réduction du dépôt d'acide, sauf qu'il est forcément plus lent que les modifications qui touchent la composition chimique de l'eau. Des travaux furent entrepris dans les lacs de la région de Sudbury à la suite de la baisse considérable des dépôts d'acide, et dans un lac artificiellement acidifié du nord-ouest ontarien. Ils ont montré qu'en inversant le processus d'acidification, des populations de poissons ont recommencé à se reproduire.

1.4.3 LES EFFETS TERRESTRES

Les effets du TGDPA sur l'environnement terrestre incluent les effets des dépôts d'acide et d'ozone sur les forêts, l'agriculture, les sols et la faune. On s'inquiète de l'étendue des ressources menacées et l'amplitude des effets observés.

En fixant le dépôt maximal de sulfate humide à 20 kg/ha/année, le Programme canadien de luttes contre les pluies acides visait à protéger les systèmes aquatiques modérément vulnérables. Il n'existait pas de données permettant de déterminer un dépôt maximal pour les systèmes terrestres. Cependant, si l'on déterminait les dommages terrestres potentiels en fonction de ce dépôt maximal, ce sont environ 15 millions d'hectares de forêts de bois feuillu et de bois mixte dans l'est du Canada qui seraient menacés (figure

1.4.6). Les dépôts de nitrate suivent une structure similaire à celle des dépôts de sulfate dans l'est du Canada (figure 1.4.7). Dans l'ouest du Canada, les dépôts d'acide sont moindres. Toutefois, ils sont relativement importants dans les terres basses de la Colombie-Britannique, où ils s'accompagnent de niveaux élevés d'ozone. On estime que 2 à 3 millions d'hectares de forêts de cette province sont exposés à ces polluants.

Au Canada, la plupart des forêts exposées à des niveaux élevés de dépôts d'acide et d'ozone se trouvent à proximité des zones habitées. Ces forêts sont parmi les plus productives du pays et les plus abondamment exploitées. Leur exploitation se partage entre les loisirs, le tourisme, l'habitat de la faune, les activités relevant de l'esthétique et des produits forestiers (zones boisées, sirop d'érable, bois tendre de qualité et bois feuillu).

On s'accorde généralement à dire que le déclin des érables observé aujourd'hui est plus grave et plus étendu que ceux de naguère. Rien ne permet d'affirmer que le déclin des arbres observé dans l'est du Canada est directement attribuable au dépôt d'acide ou d'ozone sur le feuillage. En revanche des enquêtes entreprises en Ontario et au Québec établissent que les dépôts d'acide et de polluants divers véhiculés sur de longues distances pourraient être des facteurs indirects (sol/éléments nutritifs) ou contributifs (prédisposants) au déclin des érables à sucre. On ignore le rôle et l'importance de ces épreuves supplémentaires infligés aux arbres, déjà soumis aux rigueurs climatiques (sécheresse, température), aux attaques des insectes et aux maladies, mais la menace qu'elles constituent doit être prise très au sérieux.

La gravité et l'étendue des symptômes du déclin des érables à sucre et de la mortalité des arbres en général sont de plus en plus manifestes. D'autres espèces croissant dans les érablières ont également été touchées. Dans de nombreuses régions sujettes au dépôt d'acide et dont la population sylvicole est en déclin, on a constaté un appauvrissement des sols en éléments nutritifs. Les recherches indiquent que la composition chimique des sols joue un rôle primordial dans le syndrôme du déclin, et qu'à brève échéance la fertilisation des forêts peut être un traitement efficace.

Des données dendrochronologiques provenant d'enquêtes sur les érables à sucre de l'Ontario révèlent également qu'entre le milieu des années 1940 et le milieu des années 1950, des arbres déficients et d'autres apparemment en bonne santé ont connu un ralentissement de croissance notable dans des régions créditées de niveaux de dépôt d'acide et d'ozone de modérés à très élevés.

Au Nouveau-Brunswick les recherches ont établi que la dégradation des bouleaux blancs sur les rives de la Baie Fundy était liée indirectement au brouillard marin acide.

Les incidences de l'ozone sur les cultures ont été clairement établies. Au Nouveau-Brunswick, au Québec, en Ontario et en Colombie-Britannique, on a observé que beaucoup de cultures sensibles subissaient des dommages foliaires à des niveaux

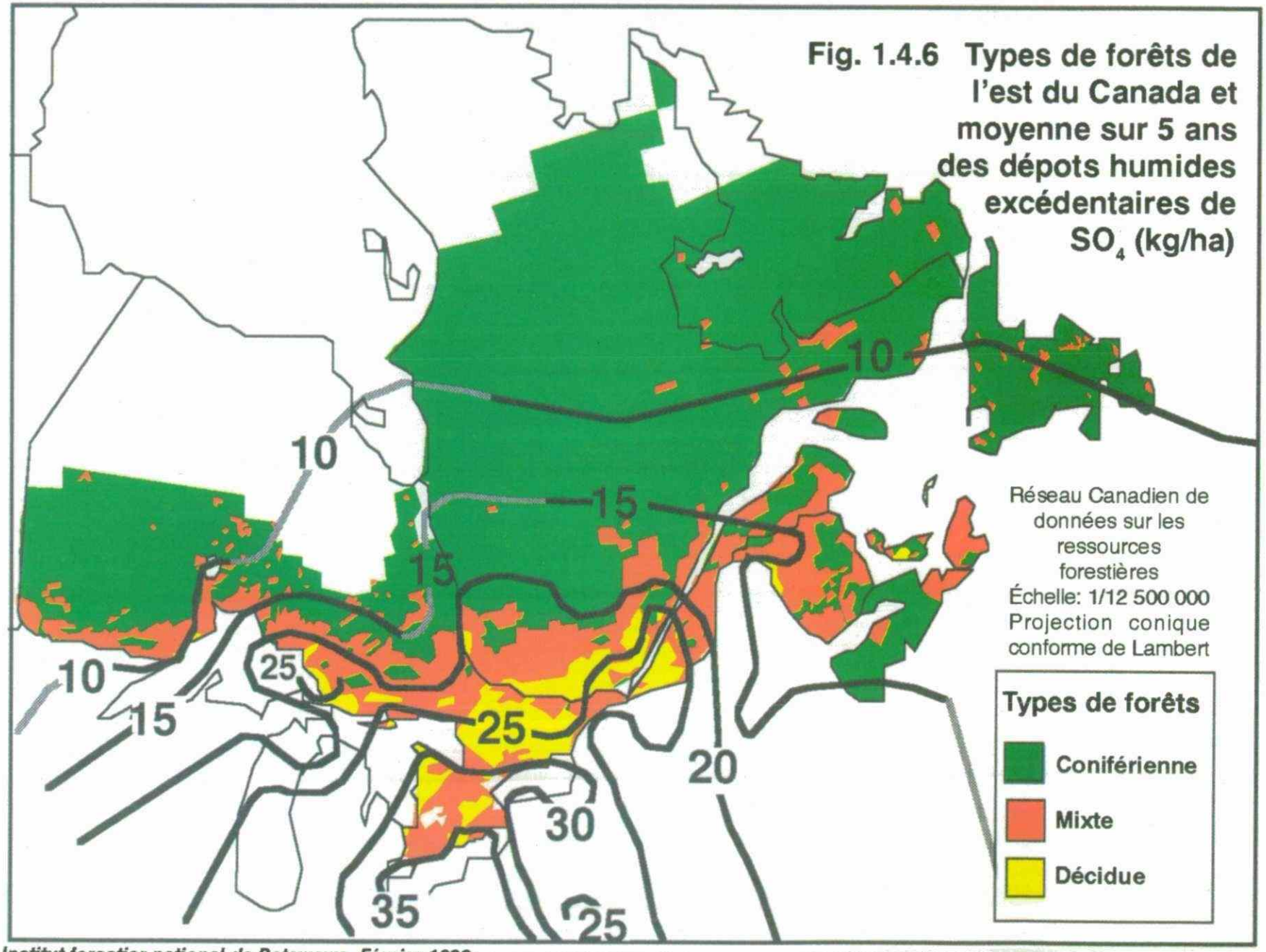


Fig. 1.4.6 Types de forêts de l'est du Canada et moyenne sur 5 ans des dépots humides excédentaires de SO_4 (kg/ha)

Institut forestier national de Petawawa, Février 1989

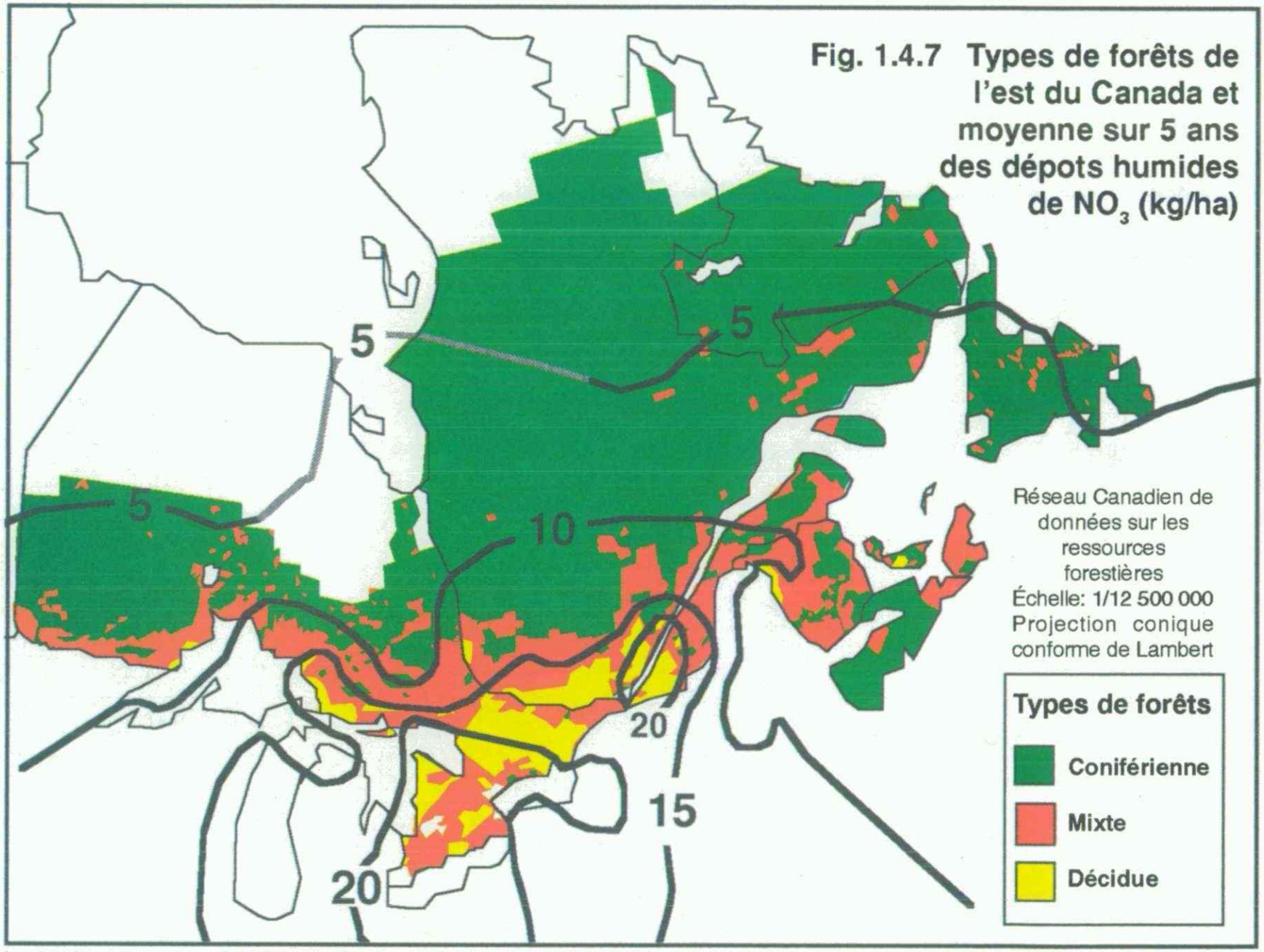


Fig. 1.4.7 Types de forêts de l'est du Canada et moyenne sur 5 ans des dépots humides de NO_3 (kg/ha)

Institut forestier national de Petawa, Février 1989

de concentration d'ozone égaux ou même inférieurs à la norme nationale (82 parties par milliard pendant moins d'une heure). Plusieurs études menées en Ontario et en Colombie-Britannique ont établi que de lourdes pertes de rendement subies par certaines cultures fragiles sont liées à l'ozone. En Ontario, on estime que les chutes de rendement touchant 19 espèces sont de l'ordre de 1 à 10 % chaque année. On a calculé aussi que si les concentrations en Ontario étaient maintenues au deça d'un maximum horaire de 80 parties par milliard, il en résulterait une hausse de rendement et une augmentation des revenus de l'ordre de 4 à 70 millions de dollars annuellement, soit jusqu'à 4 % d'un chiffre total annuel de ventes de 1,9 milliard de dollars.

Le TGDPA peut affecter la faune en détruisant son habitat, en modifiant la disponibilité ou la qualité des ressources alimentaires, et en augmentant l'accumulation de polluants toxiques dans les tissus. Au Québec, la défoliation observée dans les érablières en déclin a abouti à une diminution du nombre des oiseaux qui trouvent nourriture et abri dans les feuillages, et un accroissement du nombre des espèces qui ont une prédilection pour la végétation de surface. Dans les régions de l'Ontario qui sont sensibles aux acides, on a découvert que les lichens et certaines autres sources alimentaires pour les orignals et les cerfs étaient imprégnés de métaux toxiques. Les effets de ce phénomène sur la chaîne alimentaire se sont traduits par une accumulation de cadmium dans le foie et les reins des orignals et des cerfs dans certaines régions, tant et si bien que ces organes ont été déclarés impropres à la consommation.

1.4.4 LES EFFETS SUR LA SANTÉ HUMAINE

L'exposition à l'air pollué donne lieu à plusieurs sortes de répercussions sur la santé. Certaines sont immédiates, comme l'aggravation de l'asthme et la recrudescence des hospitalisations lors des cas de pollution. D'autres sont à long terme, comme les affections pulmonaires chroniques, les bronchites et le vieillissement accéléré des poumons. L'appareil respiratoire peut manifester certains changements subtils : diminution de la fonction pulmonaire, baisse des taux d'élimination des particules inhalées présentes au niveau des voies respiratoires supérieures, modifications des indices biochimiques et immunologiques.

Les deux composants du TGDPA les plus susceptibles d'affecter directement la santé humaine sont l'ozone et les aérosols acides, dont l'acide sulfurique. Des constats tirés de recherches sur les animaux ainsi que des résultats préliminaires de recherches sur des humains laissent supposer que les effets sur la santé des gens ont pour cause l'exposition aux aérosols acides. Les aérosols acides font partie de la pollution atmosphérique. Mais, du point de vue de leurs effets sur la santé, ils sont difficiles à distinguer du mélange polluant, c'est-à-dire des divers composants qui contribuent à l'acidité globale [H+] présente dans l'atmosphère. De plus, les interactions des aérosols acides avec d'autres polluants et la dynamique spatiale-temporelle de l'exposition aux aérosols acides, avec ou sans la présence d'autres composants dans l'air, ne sont pas encore parfaitement comprises.

En général, les plus fortes concentrations d'aérosol acide mesurées jusqu'ici, se trouvent dans des régions où l'on relève la plus haute densité d'émissions de SO_2 , c'est-à-dire le Midwest américain et le sud-est du Canada. Comme les aérosols acides sont difficiles à mesurer, ils ne font pas l'objet d'une surveillance suivie au Canada. Les quelques données dont nous disposons ici indiquent que les plus hauts niveaux d'émissions ont été observés dans le sud-ouest de l'Ontario et en Nouvelle-Écosse. Le niveau maximum horaire d'acide sulfurique, chiffré à environ 50 μg/m3, a été relevé sur la rive nord du lac Érié. Les niveaux maximum des expositions (concentration x temps) dans le sud-est de l'Ontario équivalent, à l'échelle journalière, aux niveaux qui ont causé des affections du genre bronchite chronique chez les animaux de laboratoire.

En revanche, nous disposons d'une meilleure base de données sur les concentrations d'ozone de surface au Canada, en particulier dans les zones urbaines. Des études ont indiqué qu'à l'ozone produite à l'échelon local pouvaient s'ajouter des quantités appréciables d'ozone transportée sur de longues distances. Le seuil horaire pour la concentration concentration d'ozone de 82 parties par milliard est souvent dépassé pendant les mois d'été le long du couloir Windsor-ville de Québec et quelquefois dans la région de Vancouver. Dans certaines communautés canadiennes, les concentrations d'ozone peuvent, à leur plus fort, provoquer des troubles respiratoires chez les gens bien portants. Ces effets sont parfois aggravés du fait de variables environnementales (par exemple, température, humidité) et/ou d'interactions avec d'autres polluants atmosphériques.

Une étude menée dernièrement au Canada a permis d'observer de légères diminutions de la fonction respiratoire chez les enfants aux moments de forte pollution atmosphérique pour lesquels on relevait des concentrations de 50 $\mu g/m^3$ d'acide, et de 143 ppm d'ozone. Deux autres études menées également au Canada, qui comparaient l'état des appareils respiratoires dans deux régions, l'une connue pour sa haute densité de TGDPA, et l'autre pour sa densité très faible, ont observé une diminution moyenne de 2 % de la fonction respiratoire chez les enfants de la région fortement polluée. On a noté aussi chez eux, une forte propension aux infections des voies respiratoires supérieures. On pense que cette différence résulte probablement de la coexistence des aérosols acides et de certains autres polluants comme l'ozone et l'anhydride sulfureux.

On peut utiliser les hospitalisations pour maladies des voies respiratoires comme une indication de l'état de santé respiratoire de la population en général. Les scientifiques ont découvert une relation de cause à effet entre d'une part les hospitalisations en été pour cause d'infections des voies respiratoires et d'autre part les niveaux journaliers de pollution, cause probable de ce phénomène. Selon eux, le principal responsable est vraisemblablement l'acide sulfurique en aérosol. La sensibilité peut être plus marquée quand l'acide et l'ozone sont combinés. Certains sous-groupes comme par exemple les asthmatiques, sont plus sensibles à la pollution de l'air.

La santé des humains peut aussi être touchée indirectement par les dépôts d'acide. L'acidification des réserves d'eau et des sols, accompagnée ultérieurement d'un apport de métaux lourds, peut exposer plus intensément ceux qui consomment de l'eau et des denrées contaminées à ces substances toxiques. Le cadmium et le mercure figurent au premier rang des préoccupations, car ils risquent de s'infiltrer dans les sources alimentaires et être une cause de biomagnification par la voie de la chaîne alimentaire dont l'homme est l'ultime maillon. À l'heure actuelle, l'effet le plus préjudiciable à l'eau potable provenant des réserves acidifiées (comme les lacs et les puits peu profonds des régions sensibles aux acides) est probablement la corrosion des circuits métalliques de distribution d'eau et la libération ultérieure des métaux à forte toxicité, notamment le plomb. Dans certaines régions de l'est du Canada les plus sensibles à l'acidification, on estime que 300 000 personnes s'alimentent en eau potable provenant de sources sauvages exposées aux dépôts d'acides.

1.5 QUELS CHANGEMENTS POUVONS-NOUS ATTENDRE DE L'APPLICATION INTÉGRALE DES PROGRAMMES DE RÉDUCTION DES ÉMISSIONS D'ANHYDRIDE SULFUREUX AUX ÉTATS-UNIS ET AU CANADA? CES PROGRAMMES SUFFIRONT-ILS À PROTÉGER L'ENVIRONNEMENT CANADIEN?

Le Programme de lutte des pluies acides dans l'est du Canada, réduira de 50 % d'ici à 1994, les émissions de SO_2 dans les sept provinces situées à l'est du pays. Les États-Unis ont été plus lents à adopter une législation propre à maîtriser la production de pluies acides; la loi sur la qualité de l'air pour contrôler les émissions de SO_2 fut adoptée en Novembre 1990. L'analyse de l'efficacité des programmes canadien et américain proposée par le RMCC dans ce rapport se fonde sur le Programme de contrôle du SO_2 dans l'est du Canada et sur notre évaluation de la répartition de la réduction de 9 millions de tonnes de SO_2 annoncée par le président Bush en été de 1989 (pour de plus amples renseignements consulter la 3e partie du rapport sur les sciences atmosphériques à l'Annexe G). Les modifications de la loi sur la qualité de l'air à propos des pluies acides sont très semblables à celles introduites, pour la première fois, par le président Bush, et analysées dans ce rapport.

On a comparé le schéma actuel, basé sur les dépôts moyens observés sur la période 5 ans (1982 - 1986) à trois schémas futurs possibles:

Schéma 1. Conditions actuelles : Moyennes des dépôts observées sur 5 ans (1982-1986).

Schéma 2. Prévisions des dépôts en fonction de l'application intégrale du programme de contrôle du SO_2 dans l'est du Canada et aux États-Unis. Les niveaux des émissions de SO_2 sont indentiques à ceux de 1980.

Schéma 3. Prévisions des dépôts en fonction de l'application intégrale du programme de contrôle de SO_2 dans l'est du Canada et d'une réduction de 5 millions de tonnes (4,5 millions de tonnes cubes - système métrique) par rapport aux émissions de 1980 aux États-Unis (soit la mise en place, dès 1995, de la première phase du programme annoncé par le président Bush durant l'été de 1989).

Schéma 4 Prévisions des dépôts en fonction de l'application intégrale du programme de contrôle du SO_2 dans l'est du Canada et d'une réduction de 10 millions de tonnes (9 millions de tonnes cubes - système métrique) par rapport aux émissions de 1980 aux États-Unis (soit la mise en oeuvre intégrale, avant 2000-2003 du programme annoncé par le président Bush durant l'été de 1989).

Pour prévoir dans quelle mesure les programmes canadien et américain protégeront l'environnement canadien, nous sommes tributaires de deux facteurs essentiels : 1) notre aptitude à déterminer quantitativement le rapport entre les émissions et les dépôts (c'est-à-dire le rapport source-récepteur); 2) le degré réel de la protection contre l'acidification permis par le niveau de dépôt maximal (c'est-à-dire le rapport entre niveau de dépôt maximal et le niveau de dépôt critique). Ces facteurs font l'objet des deux prochains paragraphes.

1.5.1 RAPPORT ENTRE LA SOURCE ET LA ZONE DE RÉCEPTION

Les similarités entre les structures temporelles et spatiales des émissions de SO_2 et celles du dépôt de sulfate dans l'est de l'Amérique du Nord montrent l'existence d'un lien direct entre la réduction des émissions et la réduction des dépôts. Cependant, les mesures des dépôts ne suffisent pas à elles seules à déterminer dans quelle proportion une source d'émission contribue aux dépôts dans telle ou telle zone de réception. Nous devons utiliser une autre méthode afin de prévoir avec précision les résultats d'un plan de contrôle des émissions. Les modèles mathématiques du transport à distance des polluants atmosphériques sont pour le moment le meilleur moyen dont nous disposons pour déterminer quantitativement le rapport source-récepteur.

Dans le milieu des années 1980, on avait recours à des modèles relativement simples pour mettre au point des stratégies pour contrôler les émissions de SO_2 au Canada. Ces modèles avaient le grave défaut d'établir un rapport linéaire purement hypothétique entre les émissions et l'ampleur des retombées, ce qui leur valut de sévères critiques. Par la suite, on mit au point des modèles de type dit «Eulerien», beaucoup plus complexes, simulant de façon hautement perfectionnée le transport atmosphérique et les processus de transformation et de dépôt. Bien que l'on n'ait pas fini d'évaluer ces modèles par des mesures effectuées sur le terrain, les travaux préliminaires nous autorisent à croire qu'ils sont très satisfaisants. Les résultats fournis par les modèles eulériens indiquent que les modèles plus simples exagèrent probablement le potentiel de réduction des dépôts de

sulfate humide à escompter après la mise en application des moyens de contrôle. Toutefois, l'effet de non-linéarité n'est pas jugé important quand on compare aux autres inéxactitudes des modèles et des observations. De plus, le dépôt global (humide et sec) de sulfure fluctue en fonction des variations des émissions d'une façon plus linéaire que les dépôts humides seuls. Donc, on a conclu que les modèles linéaires simples peuvent servir à développer la règlementation pour réduire les dépôts d'acide, tout au moins sur une base annuelle.

On a défini le dépôt maximal canadien en fonction du dépôt humide seul car on peut le mesurer avec plus de précision que le dépôt total. Toutefois, on présumait la contribution du dépôt sec qui devrait être lui aussi réduit par un programme de réduction des émissions.

Nous avons utilisé les modèles plus simples du ministère de l'Environnement de l'Ontario pour prévoir les dépôts de sulfate résultant des trois schémas futurs dont nous avons fait état plus haut. Les conditions actuelles (schéma 1) et les trois schémas suivants sont résumés dans les figures de 1.5.1 à 1.5.4.

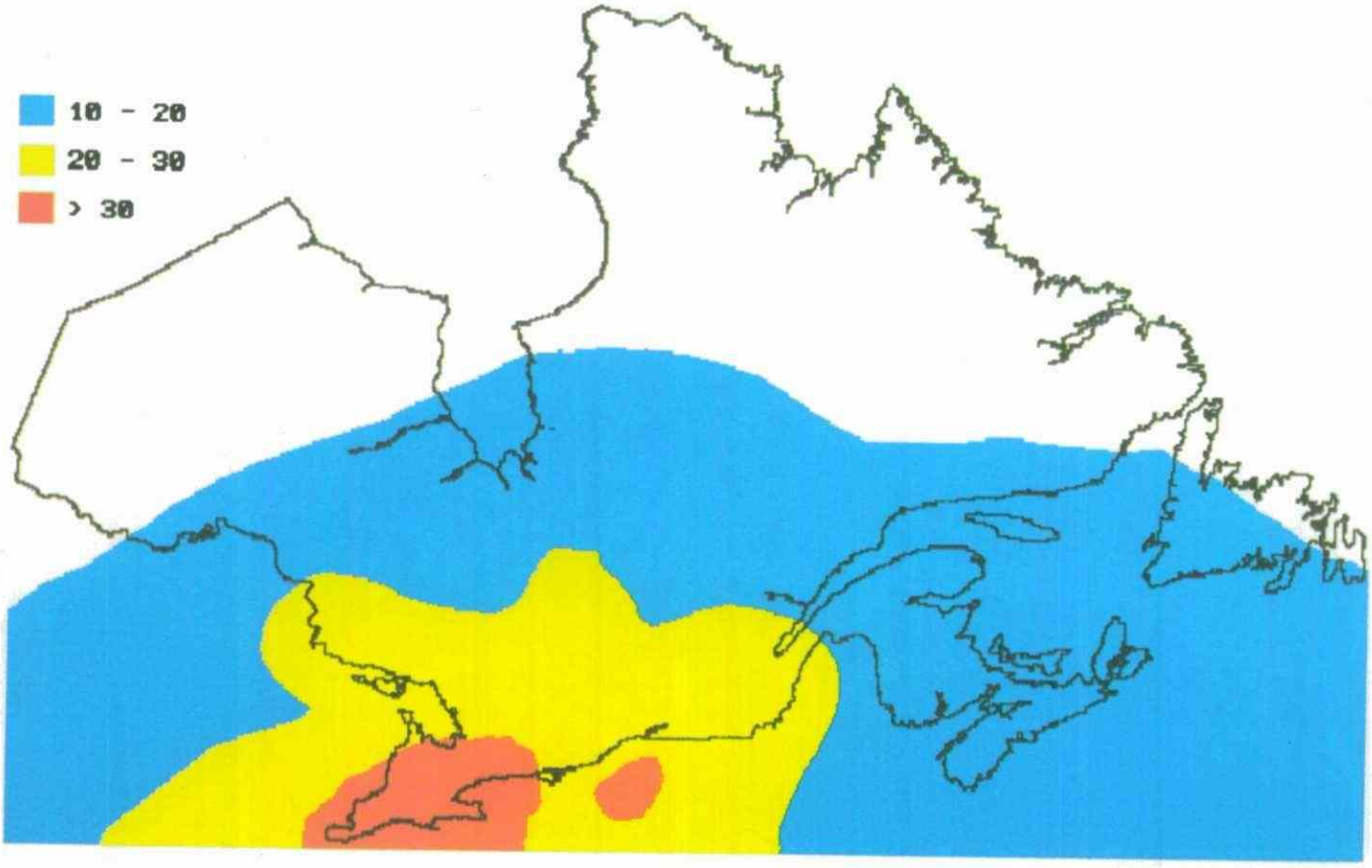


Figure 1.5.1 Schéma 1 - Conditions actuelles: Quantité de dépôts humides moyens de $SO_4^=$ en excès (kg/ha/année), observés sur cinq ans (1982-1986).

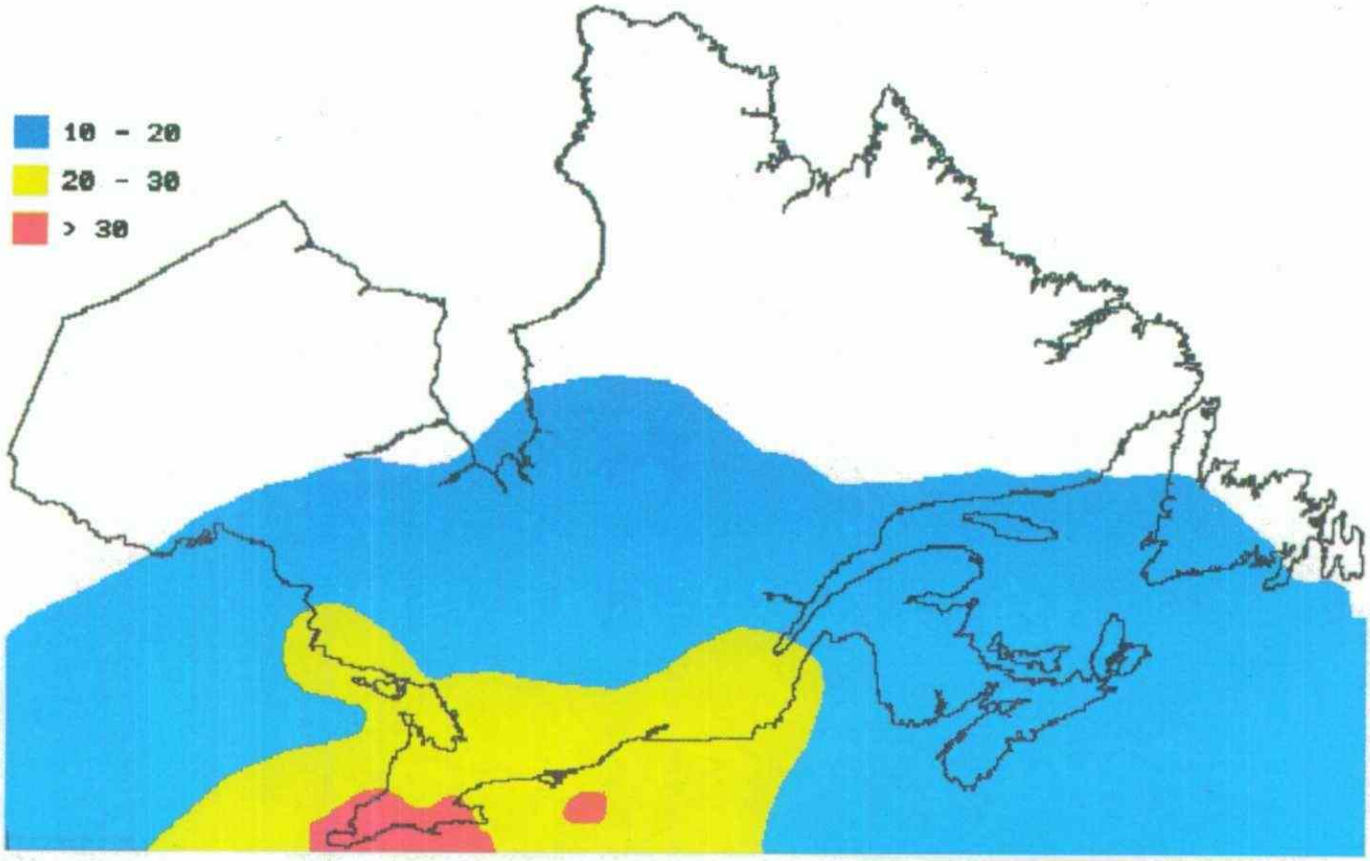


Figure 1.5.2 Schéma 2 - Prévisions des dépôts humides de $SO_4^{=}$ (kg/ha/année) tenant compte des émissions de SO_2 prévues dans l'est du Canada et un niveau des émissions aux É.-U. égal à celui de 1980.

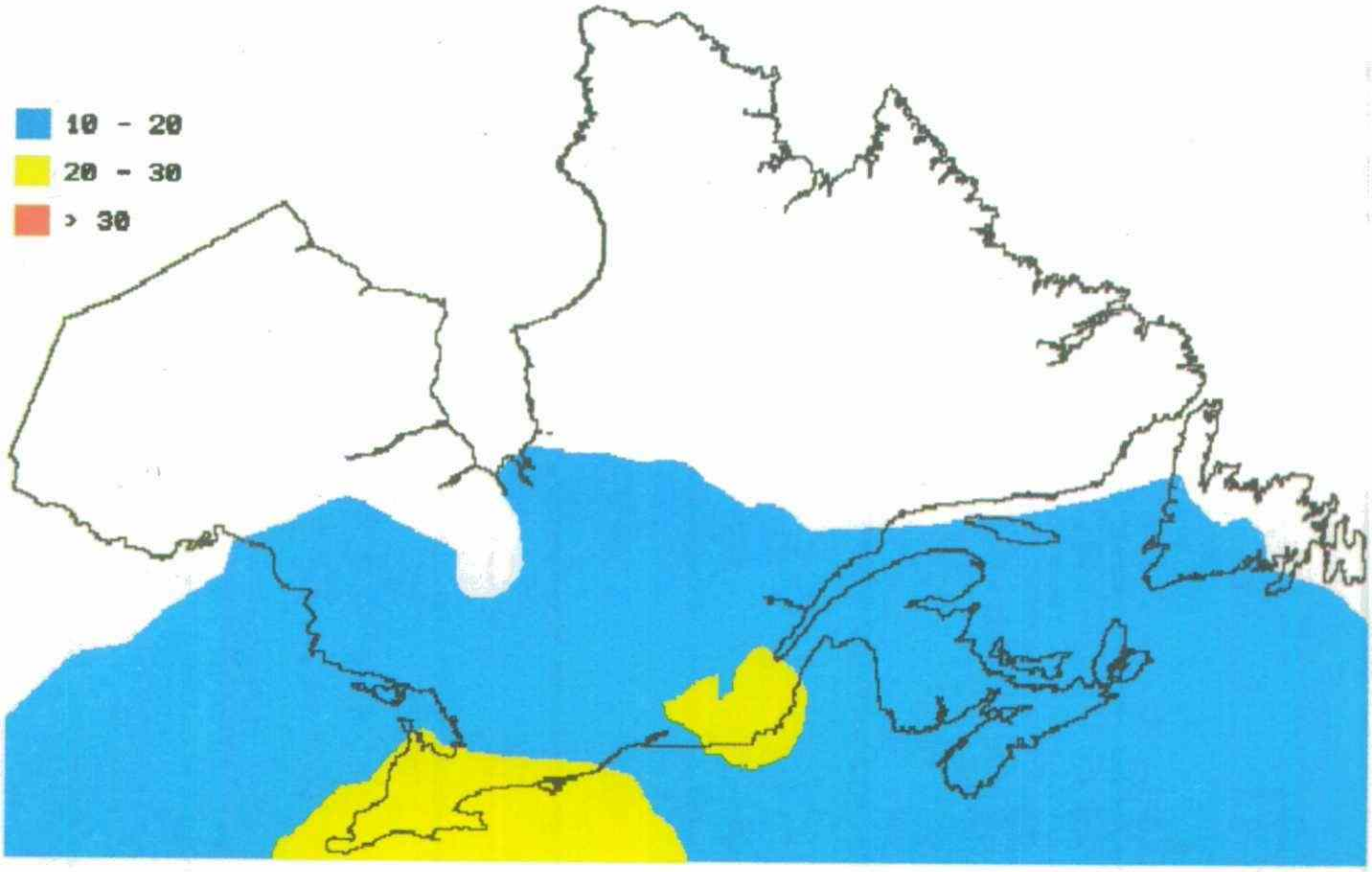


Figure 1.5.3 Schéma 3 - Prévisions des dépôts humides de $SO_4^=$ (kg/ha/année) tenant compte des émissions de SO_2 prévues dans l'est du Canada, et la réduction de 4,5 millions de tonnes par rapport aux émissions de 1980 aux É.-U.

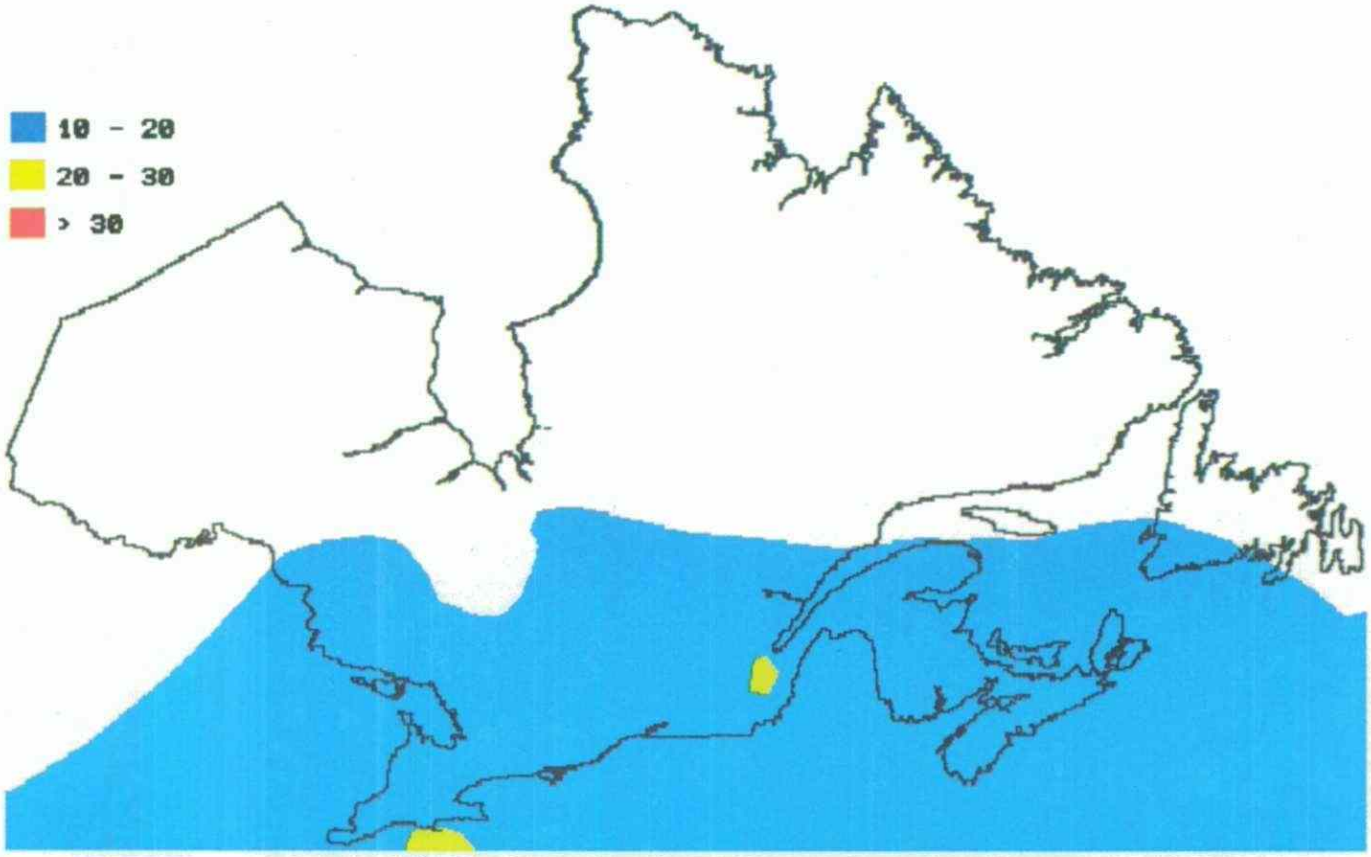


Figure 1.5.4 Schéma 4 - Prévisions des dépôts humides de $SO_4^{=}$ (kg/ha/année) tenant compte des émissions de SO_2 prévues dans l'est du Canada, et la réduction de 9 millions de tonnes par rapport aux émissions de 1980 aux É.-U.

1.5.2 RAPPORT ENTRE LE DÉPOT MAXIMAL ET LE DÉPOT CRITIQUE

Comment réagira l'environnement canadien une fois que les programmes canadien et américain de contrôle des émissions de SO_2 seront appliqués? Cette question concerne tous les éléments de l'écosystème (aquatique, terrestre, santé, matériaux, etc.). Toutefois, on comprend mieux le rapport dépôt-réaction en ce qui concerne le régime aquatique pour lequel il existe des modèles calibrés qui établissent le lien entre l'acidification des lacs et les dommages d'ordre biologique; c'est pourquoi nous l'utilisons. Mais, il y a tout lieu de croire que la protection du milieu aquatique conduira aussi à la protection des autres éléments de l'écosystème.

Le dépôt maximal décrété au début des années 1980, a été calculé en fonction des effets sur l'élément aquatique. La destruction des poissons importants à la pêche de plaisance, coïncidant avec un seuil de pH de 5,3 dans les lacs, a conduit les autorités à fixer le dépôt de sulfate humide à son niveau actuel. Cependant, on se rendit compte à l'époque que les bassins très sensibles ne seraient pas protégés par ce dépôt maximal et qu'il faudrait procéder à de nouvelles évaluations à la lumière de plus d'informations. Il convient aussi de noter que le programme canadien de lutte contre les pluies acides a été conçu en partant du principe que la réduction du niveau maximal de dépôt dans le sud de l'Ontario et au Québec, c'est-à-dire les régions les plus atteintes par une réduction des dépôts bien au-dessous de 20 kg/ha/année dans les provinces atlantiques tenues pour plus sensibles.

Dernièrement, les recherches ont changé d'objectif. Elles visent à déterminer le niveau de dépôt aquatique «critique», c'est-à-dire le seuil en-deça duquel les dépôts ne causeront pas de changements d'ordre chimique susceptibles d'avoir des effets nocifs à long terme sur la structure ou la fonction globale de l'écosystème. Le niveau critique est donc fonction de la réaction globale de l'écosystème. Il représente une mesure idéale de la protection environnementale. La définition de dépôts maximaux et la conception des programmes de contrôle peuvent donc s'appuyer sur les niveaux de dépôts critiques, ainsi que des considérations d'ordre économique et social.

Selon les informations actuelles sur les effets de l'acidité en milieu aquatique, on devrait définir le niveau critique de façon à ce que le pH reste supérieur à 6 (tableau 1.4.1). Au-dessus de ce pH, la presque totalité du biote aquatique sera protégée (pas seulement les poissons importants à la pêche de plaisance qui survivent avec un pH de 5,3). Il existe néanmoins des régions de l'est du Canada, notamment les provinces atlantiques, où l'on dénombre un pourcentage notable de lacs dont le pH naturel est égal ou inférieur à 6. Pour ces régions, le niveau critique sera calculé en fonction des lacs dont le niveau de pH est censé avoir été supérieur à 6.

Les modèles de composition chimique ont servi à prévoir un niveau de dépôt qui maintiendra un pH égal ou supérieur à 6 dans au moins 95 % des lacs situés dans une région. Les résultats indiquent que le niveau de dépôt maximum varie de moins de 8 à

plus de 20 kg/ha/année de SO_4 humide (figure 1.5.5.), en fonction de la variabilité de la vulnérabilité des terrains. On ne peut pas s'en tenir à un seul niveau critique unique pour l'ensemble de l'est du Canada. Dans les provinces atlantiques, au Labrador et dans l'est du Québec, les niveaux des dépôts critiques sont généralement très bas, inférieurs à 8 kg/ha/année, soit les niveaux de fond. Les niveaux critiques des régions du sud du Québec varient de 9 à 20 kg/ha/année et plus. En Ontario, ils varient de 8 à 20 kg/ha/année et plus.

Les effets aquatiques associés aux quatre schémas de dépôt de sulfate ont été évalués en fonction de modèles chimiques. Le pourcentage des lacs dont on prévoit un pH inférieur à 6, et à 5,3 suites aux mesures de contrôle, est indiqué dans les figures 1.5.6. et 1.5.7. Le pH 6 choisi comme critère a servi à déterminer les niveaux de dépôts critiques tandis que le pH 5,3 a servi à calculer le dépôt maximal de 20 kg/ha/année. Les modèles prédisent que la mise en oeuvre du programme canadien de réduction du SO_2 permettra d'améliorer la composition chimique des lacs, surtout en l'Ontario et au Québec. C'est ainsi que dans la région de Sudbury-Noranda (agrégat 19) on prévoit que, selon le schéma 2, 18 % des lacs auront un pH inférieur à 6, par rapport aux 38 % selon le schéma actuel. Cette région sera aussi bénéficiaire de la réduction proposée par les États-Unis. On prévoit que le pourcentage des lacs avec un pH inférieur à 6, passera à 13 % selon le schéma 3 et à 10 % selon le schéma 4. Si on applique ces pourcentages aux 45 000 lacs d'une superficie supérieure à 0,18 hectare dans cette région, le nombre des lacs avec un pH inférieur à 6 passerait à 17 000, 8000, 5000 ou 4000 selon les schémas de 1 à 4 respectivement.

Les modèles atmosphériques ne prévoient pas un décroissement notable des dépôts dans les régions atlantiques malgré la baisse globale de 50 % des émissions en amont. En conséquence, les modèles aquatiques ne prévoient pas d'améliorations notables des conditions dans les régions très sensibles du sud de la Nouvelle-Écosse et du Nouveau-Brunswick. Au Nouveau-Brunswick, en Nouvelle-Écosse, à l'Ile du Prince-Édouard, et à Terre-Neuve, on estime que 47 000 lacs de plus de 0,18 hectares et 19 000 lacs de plus de 1 hectare auront un pH inférieur à 6, même après la mise en oeuvre des programmes américain et canadien.

À l'image du pH de l'eau, on prévoit une amélioration de la vie aquatique dans la plupart des régions par suite de la réductions des émissions (figure 1.5.8). Ainsi, les modèles indiquent que 21 % des lacs de la région des Laurentides au Québec (Agrégat 14) accusent un décroissement de plus de 10 % de la richesse en espèces de poissons dans les conditions actuelles (Schéma 1). On entend par «décroissement de la richesse» une perte du nombre des espèces de poissons présentes dans un lac. On prévoit que le pourcentage des lacs accusant un décroissement de 10 % sera réduit respectivement jusqu'à 14, 11 et 8 % selon les schémas 2, 3 et 4.

Quoi qu'il en soit, les modèles ne prévoient qu'une faible amélioration de la richesse en espèces de poisson dans les provinces atlantiques. Au sud de la Nouvelle-Écosse et au

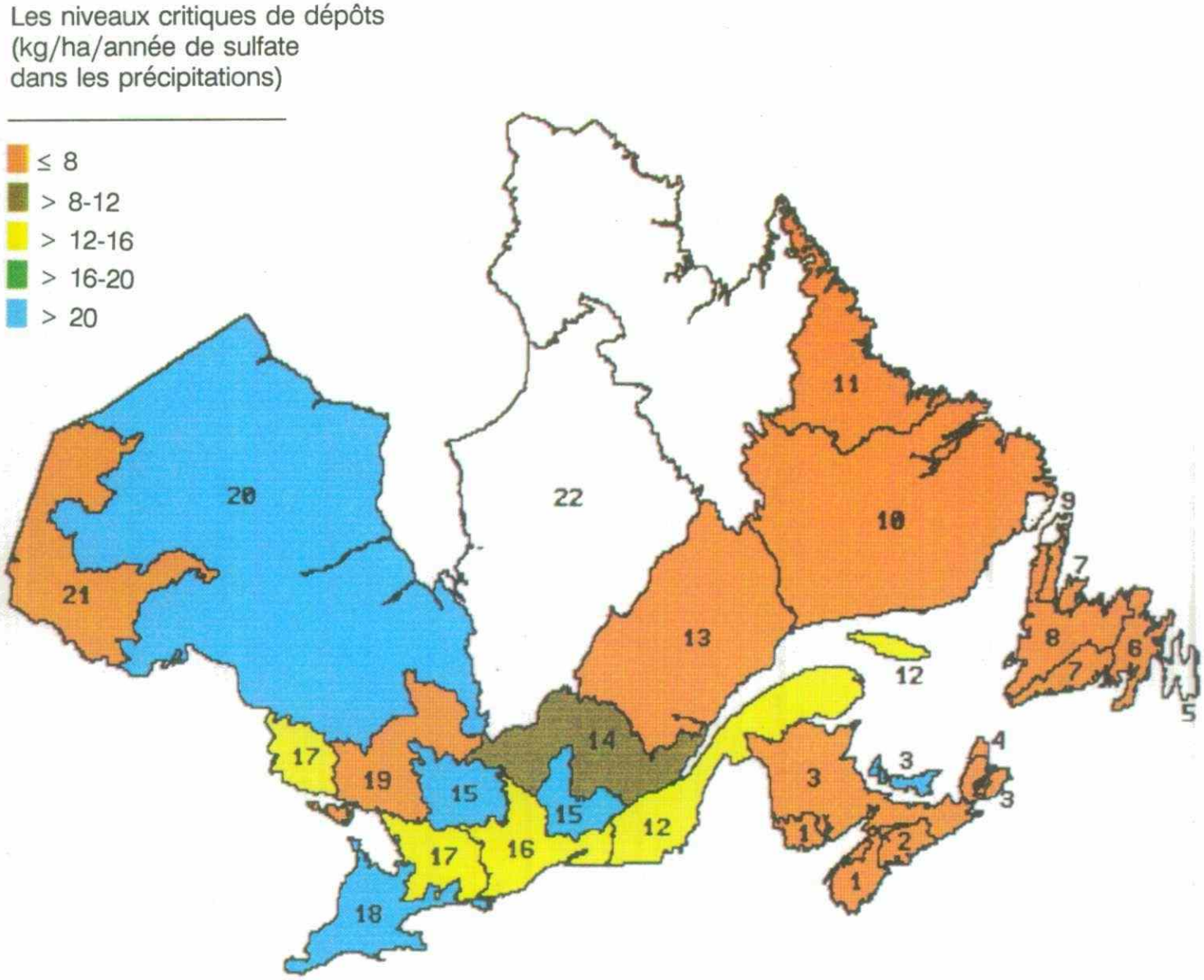


Figure 1.5.5 Les niveaux critiques de dépôts: Les analyses indiquent que le niveau critique doit maintenir un pH égal ou supérieur à 6 dans au moins 95% des lacs situés dans une région.

Nouveau-Brunswick, les lacs accusant un décroissement de 10 % de la richesse devraient être 59, 54, 51 et 47 % selon les 4 schémas respectifs. Pour les régions du nord de ces deux provinces (Agrégat 3), les chiffres sont de 36, 30, 26 et 25 % parce que les terrains sont moins sensibles.

L'amélioration de la qualité de l'eau deviendra notable moins de 10 ans après la mise en places des contrôles, mais il faudra de 50 à 100 ans pour parvenir à un rétablissement complet, dépendant des caractéristiques des différents terrains.

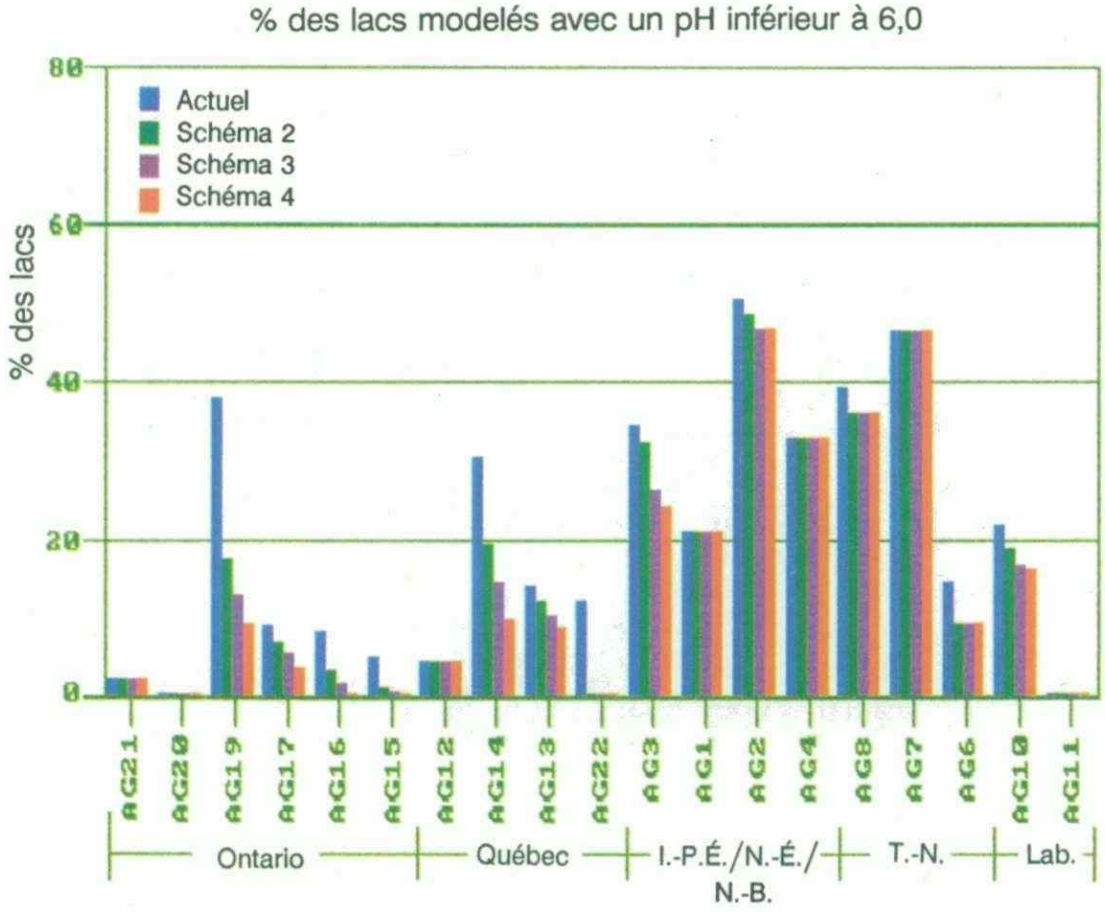


Figure 1.5.6 Prévision du nombre des lacs ayant un pH inférieur à 6 dans chaque agrégat pour les quatre schémas de dépôt de sulfate. La location de chaque agrégat est montrée dans la figure 1.5.5.

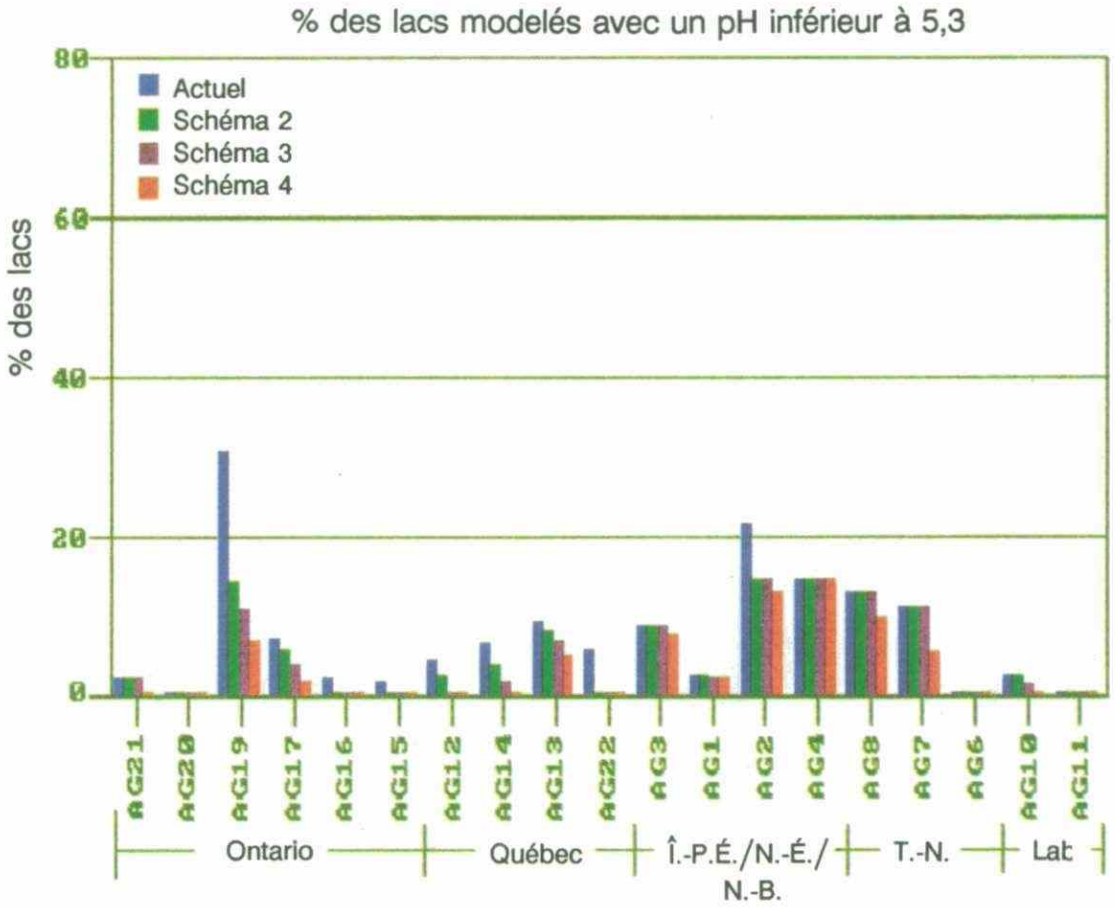


Figure 1.5.7 Prévision du nombre des lacs ayant un pH inférieur à 5,3 dans chaque agrégat pour les quatre schémas de dépôt de sulfate. La location de chaque agrégat est montrée dans la figure 1.5.5.

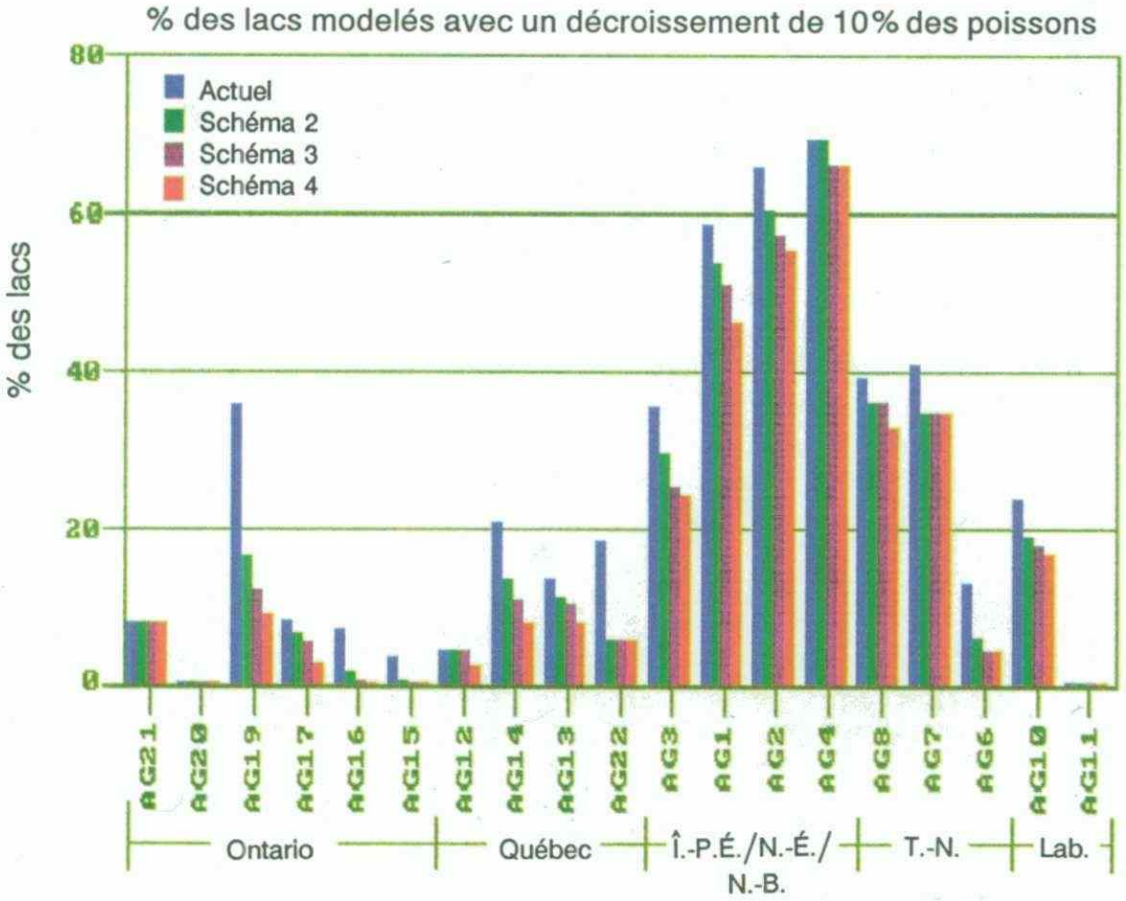


Figure 1.5.8 Le prévision du pourcentage des lacs dans chaque agrégat ayant un décroissement de plus de 10% de la richesse en espèces de poissons pour les quatre schémas de dépôt de sulfate. La location de chaque agrégat est montrée dans la figure 1.5.5.

1.6 QUELLES MESURES PEUT-ON PRENDRE À COURT TERME POUR RÉDUIRE LES IMPACTS NÉGATIFS? QUELLES SERONT LEURS CONSÉQUENCES ET LEURS CHANCES DE SUCCÈS?

Pour atténuer les effets de l'acidification des eaux de surface sur les ressources piscicoles on recourt le plus souvent à un procédé qui consiste à introduire du calcaire ou d'autres matériaux alcalins dans lacs et les rivières afin de neutraliser l'acide qu'ils contiennent. La neutralisation ou «liming» est un procédé très largement utilisé en Scandinavie pour traiter efficacement les symptômes de l'acidification. Ce moyen est également utilisé aux États-Unis dans le cadre de programmes mis en place tant à titre opérationnel qu'expérimental.

Au Canada, le «liming» expérimental est en usage en divers endroits et a donné de bons résultats en préservant une espèce indigène de saumon atlantique et en rétablissant la population des truites fardées. Mais, la neutralisation de l'acide par le «liming» n'est que provisoire, et il faut renouveler sans cesse le processus aussi longtemps que les lacs et les cours d'eau continuent de recevoir des dépôts d'acides.

Les recherches entreprises au Québec et en Europe ont montré que la fertilisation des forêts peut corriger les déséquilibres nutritifs et redonner de la vigueur aux arbres en déclin. Le Québec a mis en oeuvre un programme opérationnel de fertilisation des érablières. En 1989, 6 200 hectares environ ont ainsi été traités dans la région de la Beauce.

1.7 QUELLES SERONT LES ORIENTATIONS FUTURES DE LA RECHERCHE SUR LE TGDPA ET DES ACTIVITÉS DE LA LUTTE CONTRE LA POLLUTION?

1.7.1 RECHERCHE ET SURVEILLANCE

La mise en place des programmes de réduction des émissions de SO_2, de NO_x et de COV au Canada et aux États-Unis, impose l'instauration de moyens de surveillance à long terme des émissions, de leurs concentrations dans l'air, des dépôts qu'ils causent, et des systèmes aquatiques et terrestres pour:

- évaluer l'efficacité des programmes et de leurs conséquences pour l'écologie;
- vérifier l'exactitude des niveaux critiques et améliorer les modèles physiques et biologiques afin de mieux prévoir les conséquences à long terme pour l'écologie;
- mieux comprendre les fluctuations naturelles au sein des systèmes

physiques et biologiques;

- approfondir nos connaissances sur les processus atmosphériques qui gouvernent la formation des dépôts d'acide.

À chaque fois que cela est possible et opportun, il faudra entreprendre une surveillance intégrée des écosystèmes. Elle devra s'appliquer à tous les aspects climatiques, hydrologiques, géochimiques et biologiques des bassins hydrographiques. La surveillance intégrée ne se contente pas d'identifier les changements des écosystèmes, mais en même temps, elle fournit suffisamment de données pour déterminer, en général, la cause de ces changements.

Nous devrons nous livrer à des recherches supplémentaires pour repérer les régions, notamment du Canada atlantique, qui ne seront pas complètement protégées par les programmes américain et canadien mis en place. Les données provenant des programmes de surveillance doivent servir à valider les niveaux critiques de dépôt. D'autres analyses de l'effet du programme américain sur les dépôts humides devront être entreprises dès que nous serons en possession d'informations plus détaillées. Il conviendra de mieux définir l'ampleur des ressources aquatiques menacées. On pourra aussi entreprendre des études sur la faisabilité et l'acceptabilité de mesures pour atténuer les dommages aux systèmes aquatiques.

Quand les programmes de réduction des émissions de SO_2 seront en place, le programme de recherche sur le TGDPA devra se consacrer en partie à l'étude des causes et des effets de l'ozone au niveau du sol. On doit mieux comprendre et quantifier les sources anthropogéniques et naturelles des NO_x et des COV. La recherche atmosphérique doit se concentrer sur l'étude approfondie des rapports entre les émissions de NO_x et de COV et des niveaux ambiants de ces composés et de leurs produits, c'est-à-dire l'ozone et le nitrate de péroxyacétyle. Il faut mettre au point ou modifier, évaluer et appliquer des modèles atmosphériques afin d'évaluer l'efficacité des stratégies proposées pour le contrôle de l'ozone.

Dans le domaine des sciences aquatiques, nous devrons améliorer notre aptitude à distinguer entre les effets sur le milieu aquatique des dépôts de sulfure, des dépôts d'azote, des acides organiques et d'autres contaminants comme les métaux et les organes toxiques, et comprendre ensuite leurs corrélations. Il faudra surtout s'efforcer de comprendre les effets des dépôts d'azote et de déterminer leurs niveaux de dépôt critiques. Le patrimoine lacustre canadien est constitué en grande partie de lacs dont la superficie est inférieure à un hectare et qui forment un habitat important pour certaines espèces aquatiques. Comme nous ne possédons pour ainsi dire pas d'informations sur leur état du point de vue chimique et biologique, il importe que nous comblions cette lacune. S'impose aussi la nécessité de mieux comprendre le processus d'acidification des marécages et leur rôle dans l'accumulation et le dégagement du soufre et de l'azote.

Bien que les polluants atmosphériques soient en partie responsables du déclin des érables et des bouleaux blancs, leur degré de responsabilité reste à définir avec exactitude. Sont aussi à préciser les rôles accessoires qu'ont joué dans le déclin des forêts les maladies, les insectes, les rigueurs extrêmes du climat, l'état des substances nutritives des sols, l'ozone au niveau du sol et les dépôts d'acides. Récemment, une expérience consistant à utiliser des engrais dans les forêts a démontré que l'on pouvait réduire les symptômes de déclin. Cette expérience devrait se prolonger sur plusieurs années et s'appliquer à divers endroits en fonction de leurs conditions respectives. Pour déterminer si les programmes actuels suffiront à protéger l'environnement terrestre, il convient de déterminer les niveaux de dépôt de nitrate et de concentrations d'ozone admissibles sans danger notable. Il faudra aussi réévaluer les paramètres d'exposition à l'ozone pour les cultures économiquement importantes afin de comprendre la nature cumulative et épisodique des concentrations d'ozone tout au long de la saison de croissance.

La recherche sur les effets des polluants atmosphériques sur la santé doit examiner le lien entre les problèmes respiratoires et l'exposition aux aérosols acides, à la fois séparément et en présence de l'ozone au niveau du sol. Nous devrons aussi étudier le potentiel des effets cumulatifs de l'exposition aux aérosols acides et à l'ozone. L'acidité des aérosols doit aussi être mesurée dans les régions du pays qui reçoivent de fortes doses par TGDPA. Le sud de l'Ontario et du Québec, où les densités de population et les possibilités de TGDPA sont les plus élevées, doivent faire l'objet d'une attention particulière. Il faudra aussi fixer des taux critiques d'exposition à l'ozone et aux aérosols acides qui traduiront les risques que les expositions à court et à long terme font peser sur la santé.

Dans les régions de l'est du Canada qui sont sensibles à l'acide, on estime à 300 000 le nombre de personnes vivant qui consomment de l'eau provenant de sources qui échappent à toute réglementation et qui sont susceptibles d'être contaminées par les dépôts d'acide. Ces sources devront faire l'objet d'une surveillance accrue avant d'évaluer les risques qu'elles présentent pour la santé publique. D'autres études sur les espèces de métaux, la biodisponibilité et la bioaccumulation s'imposent pour déterminer si les dépôts d'acide sont une cause d'aggravation de la contamination des poissons et d'autres denrées alimentaires.

1.7.2 MESURES À PRENDRE POUR DIMINUER LES ÉMISSIONS

En ce qui concerne les émissions de SO_2, le NO_x et COV, les prévisions pour les 15 prochaines années indiquent que le taux d'émissions amorcera une lente remontée au début du siècle prochain. Ce phénomène sera dû en grande partie à l'augmentation du nombre des sources d'émissions liée à la croissance économique globale prévue. Nous devrons alors trouver de nouveaux moyens car les mesures actuelles seront devenues insuffisantes. Les nouveaux moyens devront tenir compte des changements dans les besoins de protection que nous révéleront les futurs travaux de recherche.

Hormis les dépôts d'acide et les concentrations d'ozone, les polluants atmosphériques et le réchauffement global réclament un surcroît d'attention. Comme il faudra faire face simultanément à plusieurs problèmes intimement liés, ceux-ci devront être abordés en étroite coordination. L'évaluation de programmes interdépendants d'une telle complexité pourra nous obliger à mettre au point de modèles socio-économiques propres à déterminer les meilleures décisions à prendre au plan de la gestion.

Les technologies actuelles ont pour but de résoudre des problèmes particuliers. Elles prennent généralement la forme de mesures curatives qui se soldent soit par un surcroît en dépense énergétique soit par la production de nouvelles émanations polluantes. Nous devrons découvrir, expérimenter et appliquer des moyens de réduire les émissions plus perfectionnés aptes à résoudre plusieurs problèmes environnementaux à la fois et à améliorer l'efficacité énergétique. Nous devrons aussi élargir les mesures préventives en mettant au point des produits de subsitution et de nouvelles technologies de transformation, et en trouvant de nouveaux moyens capables de satisfaire les besoins de la société.

ANNEXE I - LES AUTEURS ET LES COLLABORATEURS

Part 1: Résumé

Chef de l'équipe:

S. Milburn - Environnement Canada

Membres de l'équipe:

T. Brydges - Environnement Canada
S. Moore - Environnement Canada
T. Turner - Environnement Canada

Réviseurs:

Les membres du Comité Fédéral/Provicial de Coordination de la Recherche et de la Surveillance, et les coprésidents des sous-groupes

Part 2: Émissions et mesures d'antipollution

Chef de l'équipe:

P. Pinault - Environnement Canada

Membres de l'équipe:

L. Buffa - Environnement Canada
P. Finlay - Environnement Canada
B. Hobby - Environnement Canada
B. Made - Environnement Canada
S. Mitchell - Environnement Canada
A. Sheffield - Environnement Canada
F. Vena - Environnement Canada
S. Watson - Environnement Canada

Réviseurs:

Personel de l'Environnement Canada, de l'Énergie, Mines et Ressources Canada, et des Gouvernements Provinciaux

Part 3: Sciences atmosphériques

Chefs de l'équipe:

M.A. Lusis	- Ministère Ontarien de l'Environnement
M. Phillips	- Environnement Canada

Membres de l'équipe:

L.A. Barrie	- Environnement Canada
B.L. Beattie	- Environnement Canada
R. Bloxam	- Ministère Ontarien de l'Environnement
J. Bottenheim	- Environnement Canada
D. Davies	- Environnement Canada
M. Ferland	- Environnement Québec
C. Fung	- Ministère Ontarien de l'Environnement
P.K. Misra	- Ministère Ontarien de l'Environnement
J. Ogden	- Université de Dalhousie
M.P. Olson	- Environnement Canada
N.W. Reid	- Ministère Ontarien de l'Environnement
C.U. Ro	- Environnement Canada
A. Sirois	- Environnement Canada
W.B. Sukloff	- Environnement Canada
P.W. Summers	- Environnement Canada
A.J.S. Tang	- Ministère Ontarien de l'Environnement
J. Underwood	- Ministère Néo-Écossais de l'Environnement
F. Vena	- Environnement Canada
R.J. Vet	- Environnement Canada
D.H. Waller	- Université Technique de la Novelle-Écosse
D. Yap	- Ministère Ontarien de l'Environnement
J.W.S. Young	- Environnement Canada

Réviseurs:

D. Derwent	- Laboratoire Harwell
H. Dovland	- Institut Norvégien de Recherche Atmosphérique
A. Eliassen	- Institut Météorologique Norvégien

Part 4: Effets aquatiques

Chefs de l'équipe:

J. Dupont	- Environnement Québec
D.S. Jeffries	- Environnement Canada

Membres de l'équipe:

P.J. Blancher	- Environnement Canada
A.G. Bobba	- Environnement Canada
W.G. Booty	- Environnement Canada
P.J. Dillon	- Ministère Ontarien de l'Environnement
A.S. Fraser	- Environnement Canada
V. Glooschenko	- Ministère Ontarien des Ressources Naturelles
J.M. Gunn	- Ministère Ontarien des Ressources Naturelles
R.J. Hall	- Ministère Ontarien de l'Environnement
R.G. Helie	- Environnement Canada
L.M. Johnston	- Environnement Canada
D.C.L. Lam	- Environnement Canada
L.J. Lechner	- Environnement Saskatchewan
K.H. Mills	- Pêches et Océans Canada
C.K. Minns	- Pêches et Océans Canada
F. Norouzian	- Environnement Canada
A. Scheuhammer	- Environnement Canada
R.L. Thomas	- Environnement Canada
M.A. Turner	- Forêts Canada
W.D. Watt	- Pêches et Océans Canada
I. Wong	- Environnement Canada
J.A. Wood	- Environnement Canada
N.D. Yan	- Ministère Ontarien de l'Environnement

Réviseurs:

Anonymous	- É.-U.
J.P. Baker	- É.-U.
J.Y. Charette	- Environnement Canada
T.A. Clair	- Environnement Canada
B. Coker	- Commission Géologique du Canada
F.C. Elder	- Consultant privé
H. Hirvonen	- Environnement Canada
W. Keller	- Ministère Ontarien de l'Environnement
I. Kettles	- Commission Géologique du Canada
I.H. Muniz	- Norvège

C. Neal	- Angleterre
S.J. Ormerod	- Angleterre
M. Papineau	- Environnement Canada
H.M. Seip	- Norvège
W.W. Shilts	- Energie, Mines et Ressources Canada
E.Wiken	- Environnement Canada

Part 5: Effets terrestres

Chefs de l'équipe:

R.G. Pearson	- Ministère Ontarien de l'Environnement
K.E. Percy	- Forêts Canada

Membres de l'équipe:

P.A. Addison	- Forêts Canada
P.A. Arp	- Université de Nouveau-Brunswick
P. Blancher	- Environnement Canada
R.M. Cox	- Forêts Canada
J.M. Fortin	- Ministère Québecois de l'Energie et des Ressources
N.W. Foster	- Forêts Canada
G. Gagnon	- Ministère Québecois de l'Energie et des Ressources
W.I. Gizyn	- Ministère Ontarien de l'Environnement
V. Glooschenko	- Ministère Ontarien des Ressources Naturelles
W. Hendershot	- Collège MacDonald
G.D. Hogan	- Forêts Canada
A.L. Kuja	- Ministère Ontarien de l'Environnement
D. Lachance	- Forêts Canada
D. LaFlamme	- Ministère Québecois de l'Energie et des Ressources
D. Leckie	- Forêts Canada
W.D. McIlveen	- Ministère Ontarien de l'Environnement
D. McLaughlin	- Ministère Ontarien de l'Environnement
I.K. Morrison	- Forêts Canada
J.A. Nicolson	- Forêts Canada
J.P. Renaud	- Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation de Québec
J. Tims	- Ministère de l'Environnement de Nouveau-Brunswick
D.L. Wotton	- Environnement Manitoba

Réviseurs:

J.N.B. Bell	- Collège Imperial
A.N. Legge	- Université de Calgary
D.P. Ormrod	- Université de Guelph
R.K. Schreiber	- Centre National de Recherche sur les Pêches
R. Skeffington	- Centre de Technologie et Recherche Environnementale

Part 6: Effets sur la santé humaine

Chef de l'équipe:

Mark Raizenne - Santé et Bien-être Canada

Membres de l'équipe:

Personel de la Section des Effets Toxiques de la Pollution Atmosphérique sur la Santé - Santé et Bien-être Canada

Part 7: Études socio-économiques

D. Burich	- Environnement Canada
W. Smith	- Environnement Canada

Part 8: Études sur l'assurance de la qualité

Chefs de l'équipe:

J. Lawrence	- Environnement Canada
S. Villard	- Ministère Ontarien de l'Environnement

Membres de l'équipe:

K.I. Aspila	- Environnement Canada
A. Neary	- Ministère Ontarien de l'Environnement
J. Tims	- Ministère de l'Environnement de Nouveau-Brunswick
R.J. Vet	- Environnement Canada

TD
195.54
.C362
1990

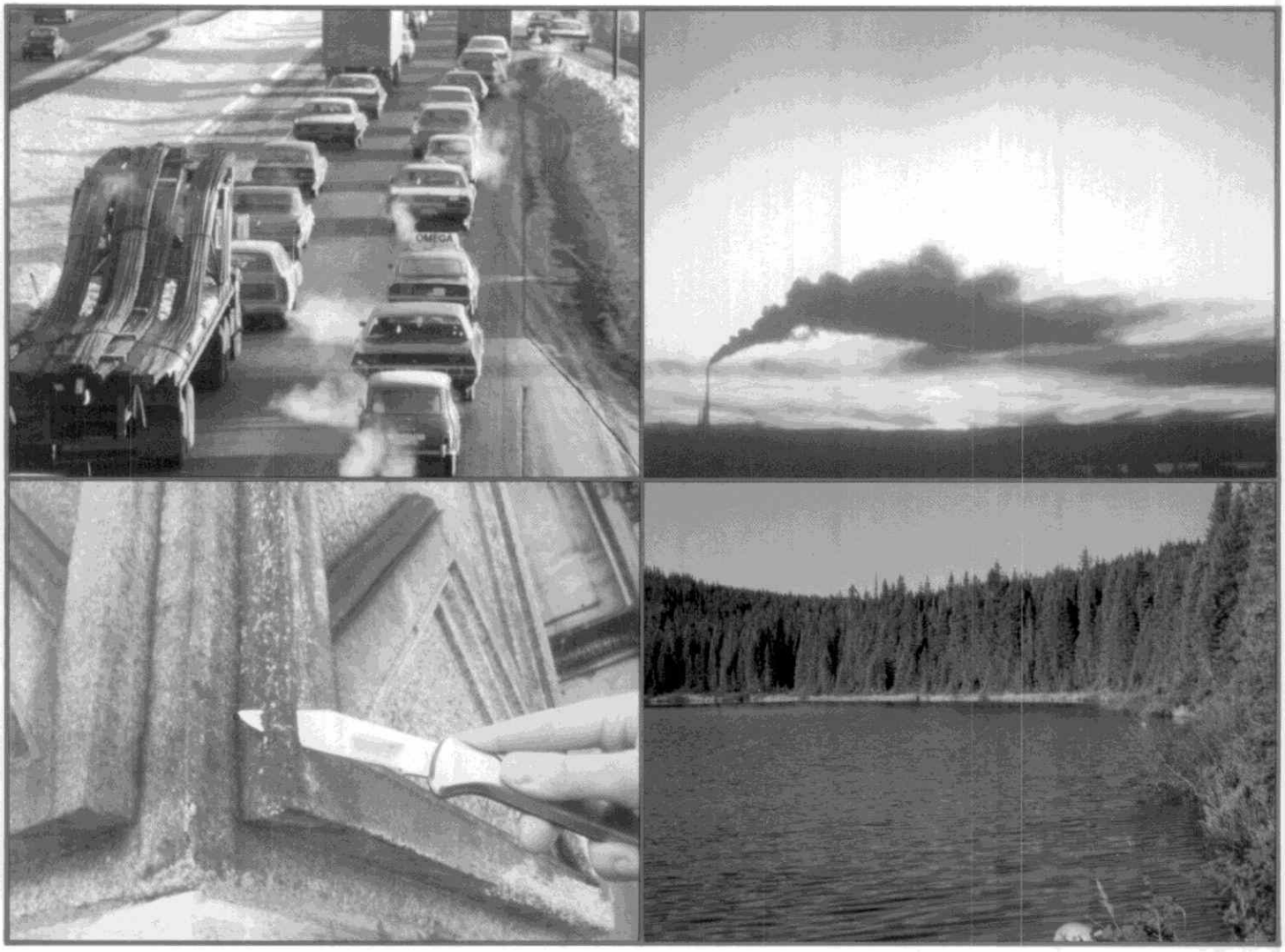
Rapport Canadien d'evaluation
de 1990 sur le transport a
distance des pollutants
atmospheriques et sur les

78736

REMERCIEMENTS

Les photographies de la couverture ont été fournies par Environnement Canada.

Celle à l'arrière, en bas, à gauche, est un don de Martin Weaver de la firme Martin Weaver Conservation Consultants Inc.


OMEGA